



Tesis de Doctorado

UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA

José Manuel Álvarez-Campana Gallo

ESCOLA DE DOUTORAMENTO INTERNACIONAL DA USC

PROGRAMA DE DOUTORAMENTO EN LÓXICA E FILOSOFÍA DA CIENCIA

SANTIAGO DE COMPOSTELA

2020

DECLARACIÓN DO AUTOR/A DA TESE

Una elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria

D. José Manuel Álvarez-Campana Gallo

Presento a miña tese, seguindo o procedemento axeitado ao Regulamento, e declaro que:

- 1) A tese abarca os resultados da elaboración do meu traballo.
- 2) De selo caso, na tese faise referencia ás colaboracións que tivo este traballo.
- 3) A tese é a versión definitiva presentada para a súa defensa e coincide coa versión enviada en formato electrónico.
- 4) Confirmo que a tese non incorre en ningún tipo de plaxio doutros autores nin de traballos presentados por min para a obtención doutros títulos.

En Santiago de Compostela a 1 de xullo de 2020

Asdo.....



AUTORIZACIÓN DO DIRECTOR / TITOR DA TESE

UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL
SANITARIA

D. Miguel Ángel Quintanilla Fisac

D. José Luís Falguera López

INFORMA/N:

Que a presente tese, correspóndese co traballo realizado por D. José Manuel Álvarez-Campana Gallo, baixo a miña dirección, e autorizo a súa presentación, considerando que reúne os requisitos esixidos no Regulamento de Estudos de Doutoramento da USC, e que como director desta non incorre nas causas de abstención establecidas na Lei 40/2015.

En Salamanca / Santiago de Compostela, 1 de julio de 2020

Asdo. Miguel Ángel Quintanilla Fisac

Asdo. José Luís Falguera López

*Mi bajorrelieve favorito: Atenea mostrando
A Hércules por dónde romper la orilla del río
Con un movimiento del alto yelmo, la vara señalando
El lugar preciso, el Alfeo desbordándose
De su lecho hacia los estratos profundos de los excrementos
De los malolientes establos del rey Augías.
Delicadas mezclas de las aguas vertidas,
Puertas cerradas y suelos inundados como arroyos...
Allí fue, en Olimpia, entre verdes sauces,
El desbordar de las aguas purificadoras y poco profundas (...)*

Seamus Heaney (2001), *Los Establos de Augías*.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero dar las gracias a mis pacientes directores, parte activa de la comunidad (euroamericana) profesional académico-docente y de investigación en Filosofía de la Ciencia y de la Tecnología: Miguel Ángel Quintanilla Fisac (Universidad de Salamanca) y José Luis Falguera López (Universidad de Santiago de Compostela). El por qué, ellos bien lo saben.

También forman parte de esta comunidad otros docentes del Programa interuniversitario de doctorado en Lógica y Filosofía de la Ciencia, entre quienes mencionaré a Wenceslao González (Universidad de A Coruña) y Alfredo Marcos (Universidad de Valladolid), con los que tuve oportunidades adicionales para apreciar más sus generosas contribuciones.

De la comunidad (euroamericana) profesional académico-docente y de investigación en Ingeniería Civil y Ambiental Sanitaria, quiero destacar a Alfredo Jácome (Universidad de A Coruña) y Joaquín Suárez (Universidad de A Coruña), y al Grupo de investigación en ingeniería del agua y del medio ambiente (GEAMA-UDC), junto a los que he podido familiarizarme con la docencia e investigación en ingeniería ambiental sanitaria.

Quiero también que hacer un agradecimiento amplio (y en cierto modo difuso) a los centenares de autoras y autores de trabajos en las materias filosóficas e ingenieriles citadas, por las horas que he disfrutado con su lectura.

Para terminar, quiero destacar mi agradecimiento, con respeto y admiración, a Mario Bunge (1919-2020). Su extensa obra me ha iluminado con la clara luz austral, aunque llegara desde Norteamérica.

Si es que he conseguido algo, habrá sido posible gracias a la luz de Bunge y al verbo de Quintanilla. Desde ahí surge el ‘modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de tecnologías’.

Resumen:

Esta investigación desarrolla una elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria (en la que convergen la ingeniería civil y la ingeniería ambiental). Se toma como punto de partida a la filosofía de la tecnología, como sede natural de la indagación, considerando a la ingeniería como una especificación de la tecnología. Se opta por un enfoque de filosofía práctica, sistemista, de ontología materialista, combinando aportaciones seminales de Bunge y Quintanilla. Del primero se destacan: la caracterización de elementos de una tecnología, la visión del mundo como sistema, y el modelo sistemista CESM (componentes, entorno, estructura y mecanismos). De Quintanilla se destaca la caracterización de la tecnología (e ingeniería) como ‘sistema de acciones intencionales’, conjugando aspectos ontológicos, epistemológicos y axiológicos.

Desde aquí se elabora, como novedad, un modelo general de elucidación filosófica sistemista de la tecnología, que denomino ‘Bunge-Quintanilla’. Este modelo, aplicado a la ingeniería, consiste en un sistema complejo socio-técnico, abierto y adaptativo, constituido por cuatro tipos de sistemas: i) sistema óntico material, que da cuenta de los agentes intencionales (comunidad profesional ingenieril), los artefactos, el complejo institucional y el toposistema; ii) sistemas semióticos (lenguajes naturales, lenguajes formales y sistemas gráficos), como puente material-conceptual; iii) sistemas culturales conceptuales, incluyendo los sistemas epistémico, metodológico, axiológico y ético; y iv) sistemas funcionales praxiológicos, como mecanismos esenciales del sistema complejo ingenieril, incluyendo el académico-docente, el de cambio (I+D+i), el de producción (proyecto-ejecución-explotación), y el de gestión y control.

Este modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista se aplica al caso de la ingeniería ambiental sanitaria, identificando sus elementos CESM sistémicos, que dan cuenta tanto del sistema general de esta ingeniería, como de sus sistemas socio-técnicos más característicos: abastecimiento de agua potable; saneamiento y depuración de aguas residuales; gestión de pluviales y escorrentías urbanas; gestión de residuos sólidos urbanos; y control de la contaminación atmosférica urbana.

Palabras clave: filosofía de la tecnología, elucidación filosófica ingenieril, modelo Bunge-Quintanilla de elucidación sistemista, sistema complejo socio-técnico ingenieril, ingeniería ambiental sanitaria

Resumo:

Esta investigación desenvolve unha elucidación filosófica da enxeñería ambiental sanitaria (na que converxen a enxeñería civil e a enxeñería ambiental). Tómasse como punto de partida á filosofía da tecnoloxía, como sede natural da indagación, considerando á enxeñería como unha especificación da tecnoloxía. Óptase por un enfoque de filosofía práctica, sistemista, de ontoloxía materialista, combinando achegas seminais de Bunge e Quintanilla. Do primeiro destácanse: a caracterización de elementos dunha tecnoloxía, a visión do mundo como sistema, e o modelo sistemista CESM (compoñentes, contorna, estrutura e mecanismos). De Quintanilla destácase a caracterización da tecnoloxía (e enxeñería) como ‘sistema de accións intencionais’, conxugando aspectos ontolóxicos, epistemolóxicos e axiolóxicos.

Desde aquí elabórase, como novidade, un modelo xeral de elucidación filosófica sistemista da tecnoloxía, que denomino ‘Bunge-Quintanilla’. Este modelo, aplicado á enxeñería, consiste nun sistema complexo socio-técnico, aberto e adaptativo, constituído por catro tipos de sistemas: i) sistema óntico material, que dá conta dos axentes intencionais (comunidade profesional ingenieril), os artefactos, o complexo institucional e o toposistema; ii) sistemas semióticos (linguaxes naturais, linguaxes formais e sistemas gráficos), como ponte material-conceptual; iii) sistemas culturais conceptuais, incluíndo os sistemas epistémico, metodolóxico, axiológico e ético; e iv) sistemas funcionais praxiolóxicos, como mecanismos esenciais do sistema complexo ingenieril, incluíndo o académico-docente, o de cambio (I+D+i), o de produción (proxecto-execución-explotación), e o de xestión e control.

Este modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista aplícase ao caso da enxeñería ambiental sanitaria, identificando os seus elementos CESM sistémicos, que dan conta tanto do sistema xeral desta enxeñería, como dos seus sistemas socio-técnicos máis característicos: abastecemento de auga potable; saneamento e depuración de augas residuais; xestión de pluviais e escorrentías urbanas; xestión de residuos sólidos urbanos; e control da contaminación atmosférica urbana.

Palabras chave: filosofía da tecnoloxía, elucidación filosófica enxeñeril, modelo Bunge-Quintanilla de elucidación sistemista, sistema complexo socio-técnico enxeñeril, enxeñería ambiental sanitaria

Abstract:

This research develops a philosophical elucidation of sanitary environmental engineering (in which civil and environmental engineering converge). It takes as a starting point the philosophy of technology, as a natural place of inquiry, considering engineering as a specification of technology. A practical, systemic, materialistic ontology philosophy approach is chosen, combining seminal contributions from Bunge and Quintanilla. From the first one, the following stand out: the characterization of elements of a technology, the vision of the world as a system, and the systemist model CESM (components, environment, structure and mechanisms). From Quintanilla, the characterization of technology (and engineering) as a 'system of intentional actions' stands out, combining ontological, epistemological and axiological aspects.

From here, as a novelty, a general model of systemic philosophical elucidation of technology is elaborated, which I call 'Bunge-Quintanilla'. This model, applied to engineering, consists of a complex socio-technical system, open and adaptive, made up of four types of systems: i) material ontic system, which accounts for the intentional agents (professional engineering community), the artifacts, the institutional complex and the toposystem; ii) semiotic systems (natural languages, formal languages and graphic systems), as a material-conceptual bridge; (iii) conceptual cultural systems, including epistemic, methodological, axiological and ethical systems; and (iv) functional praxiological systems, as essential mechanisms of the complex engineering system, including the academic-teaching system, the system of change (R&D&I), the system of production (project-execution-operation), and the system of management and control.

This Bunge-Quintanilla model of systemic philosophical elucidation is applied to the case of environmental health engineering, identifying its systemic CESM elements, which account for both the general system of this engineering and its more characteristic socio-technical systems: drinking water supply; sewerage and wastewater treatment; management of rainwater and urban runoff; management of urban solid waste; and control of urban air pollution.

Keywords: philosophy of technology, philosophical engineering elucidation, Bunge-Quintanilla model of systemic elucidation, complex socio-technical engineering system, sanitary environmental engineering

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	19
1 OBJETO Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	25
1.1 OBJETO Y OBJETIVOS DE ESTUDIO	25
1.2 ESTADO GENERAL DE LA CUESTIÓN	26
1.2.1 Investigaciones filosóficas en ingeniería sanitaria y ambiental	26
1.2.2 Investigaciones filosóficas sobre ingenierías civil y ambiental	27
1.2.3 Investigaciones filosóficas sobre ingeniería y filosofía de la ingeniería	29
1.2.4 Investigaciones de áreas filosóficas para una filosofía de la ingeniería	33
1.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	46
1.4 ESTRUCTURA DEL TRABAJO	49
 PARTE 1ª BASES PARA UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA DE TECNOLOGÍAS	
2 ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA E INGENIERÍA (OBJETO Y MÉTODO)	53
2.1 EL COMIENZO: DESDE LA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA CONCEPTUAL	53
2.1.1 La filosofía como actividad elucidatoria, según Wittgenstein (1921)	53
2.1.2 La elucidación filosófica conceptual desde R. Carnap (1950)	54
2.1.3 Elucidación filosófica y análisis conectivo (sistemista) en Strawson (1992)	58
2.2 LA INGENIERÍA COMO OBJETO DE ELUCIDACIÓN	63
2.2.1 Tecnología e ingeniería como <i>tecnología ingenieril</i>	63
2.2.2 Tecnología e ingeniería: la visión de un mundo de sistemas	65
2.2.3 La ingeniería dentro de la familia de tecnologías: un diseño elucidatorio	69
2.3 CONCEPTUALIZACIÓN EN MÉTODOS TECNOLÓGICOS E INGENIERILES	72
2.3.1 Conceptualización <i>ex ante</i> en el método tecnológico	72
2.3.2 Construcción conceptual: modelos de sistemas y marcos conceptuales	75
2.3.3 Un método conceptual tecnológico ingenieril: problema-diseño-modelo	80
 3 HACIA UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE TECNOLOGÍAS ..	87
3.1 UNA ELUCIDACIÓN DESDE LA FILOSOFÍA DE LA TECNOLOGÍA	87
3.1.1 Una elucidación filosófica desde la filosofía de la tecnología	87
3.1.2 Núcleo teórico de una elucidación filosófica de tecnologías: Quintanilla (2005)	91
3.1.3 Una elucidación filosófica de orientación práctica y ontología sistémica	95
3.1.4 Áreas filosóficas de interés para una elucidación filosófica de tecnologías	97
3.2 UN MODELO DE ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE TECNOLOGÍAS	103
3.2.1 Presencia de la teoría y filosofía de sistemas en un mundo de sistemas	103
3.2.2 Sistemas tecnológicos sistematizados: tipos, modelos y representación	108
3.2.3 Modelo sistémico bungeano en una elucidación filosófica de tecnologías	113
3.3 MÉTODO Y MODELO PARA UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA	115
3.3.1 Caracterización de elementos presentes en una tecnología (Bunge, 1985)	115
3.3.2 Discusión sobre un método integrado de elucidación filosófica sistemista	123
3.3.3 Modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de tecnologías	131

PARTE 2ª UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE LA INGENIERÍA

4 ELUCIDACIÓN BUNGE-QUINTANILLA DESDE LA TECNOLOGÍA INGENIERIL COMO *EXPLICANDUM*..... 143

4.1 TECNOLOGÍAS INGENIERILES (INGENIERÍA) COMO <i>EXPLICANDUM</i>	143
4.1.1 Familiarización primaria con el problema (ingeniería) en tanto <i>explicandum</i>	143
4.1.2 Aclaración básica y delimitación de la ingeniería como <i>explicandum</i>	146
4.1.3 Especificaciones del problema y requisitos de <i>explicatum</i> de la ingeniería	152
4.2 AVANCES EN MODELO BUNGE-QUINTANILLA DE ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA	156
4.2.1 Sistema de campo ontológico material de una tecnología ingenieril.....	157
4.2.2 Los sistemas semióticos como sistemas puente: concreto-abstracto	163
4.2.3 Sistema conceptual del campo epistemológico de tecnologías ingenieriles.....	167
4.2.4 Sistema conceptual del campo metodológico de la tecnología ingenieril	173
4.2.5 Sistema conceptual del campo ético-axiológico de una tecnología ingenieril	177
4.2.6 Procesos de la ingeniería: sistema funcional praxiológico de la ingeniería	191
4.2.7 Historia e historicidad del sistema complejo de la tecnología ingenieril	200

5 MODELO BUNGE-QUINTANILLA DE ELUCIDACIÓN SISTÉMICA: INGENIERÍA COMO *EXPLICATUM*..... 205

5.1 MUNDO MATERIAL DE LA INGENIERÍA: SISTEMA ÓNTICO MATERIAL INGENIERIL	208
5.1.1 Subsistema óntico ingenieril (i): agencia humana de individuo y comunidades.....	212
5.1.2 Subsistema óntico ingenieril (ii): recursos (R), artefactos (A) y productos (P)	218
5.1.3 Subsistema óntico ingenieril (iii): sujeto colectivo como complejo institucional	228
5.1.4 Subsistema óntico ingenieril (iv): toposistema del sistema situado	232
5.2 ENTRE EL MUNDO Y LA CULTURA INGENIERIL: SISTEMAS SEMIÓTICOS	235
5.2.1 Lenguajes naturales especializados de tecnologías ingenieriles (<i>SLNti</i>)	237
5.2.2 Lenguajes formales, de alta abstracción, en ingeniería (<i>SLFti</i>)	242
5.2.3 Sistemas de representación gráfica en ingeniería (<i>SGti</i>)	246
5.3 CULTURA INMATERIAL INGENIERIL: SISTEMAS CONCEPTUALES DE LA INGENIERÍA	248
5.3.1 Saber ingenieril: sistema conceptual epistémico en ingeniería (<i>SEPt</i>).....	249
5.3.2 Método ingenieril: sistema conceptual metodológico en ingeniería (<i>SMEti</i>).....	257
5.3.3 Valores ingenieriles: sistema conceptual axiológico de la ingeniería (<i>SAXti</i>).....	263
5.3.4 Actitud humana ingenieril: sistema conceptual ético de la ingeniería (<i>SETti</i>)	269
5.4 PRÁCTICA INGENIERIL: SISTEMAS FUNCIONALES PRAXIOLÓGICOS (<i>SPRAti</i>)	278
5.4.1 Transmisión cultural ingenieril: sistema praxiológico académico-docente.....	278
5.4.2 Cambio ingenieril: sistema praxiológico de I+D+i (<i>SPRA-Cti</i>)	283
5.4.3 Produciendo: sistema praxiológico de producción en ingeniería (<i>SPRA-Pti</i>)	290
5.4.4 Control: sistema praxiológico de gestión y control (<i>SPRA-Gti</i>)	297
5.5 SISTEMAS Y TIEMPO: HISTORIA E HISTORICIDAD EN EL SISTEMA INGENIERIL	300
5.5.1 Historia e historicidad de los sistemas del sistema complejo ingenieril (<i>S²ING</i>)	301
5.5.2 Historia e historicidad del sistema complejo de la ingeniería (<i>S²ING</i>).....	307
5.5.3 Presente (s. XXI): representación del sistema complejo ingenieril (<i>S²ING</i>)	310

PARTE 3ª CASO DE ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA

6 INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL: *EXPLICANDUM* E INTERÉS DE UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA..... 321

6.1 LA INGENIERÍA SANITARIA COMO <i>EXPLICANDUM</i> : ANTECEDENTES (S. XIX-XX)	322
6.1.1 Marco y ámbito tradicional de la ingeniería sanitaria.....	322

6.1.2 Autores y textos fundacionales de la ingeniería sanitaria.....	325
6.1.3 Documentación para una historiografía sobre ingeniería sanitaria.....	328
6.2 LA INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL COMO <i>EXPLICANDUM</i>: ESTADO ACTUAL (S. XXI)	336
6.2.1 Definición, objeto y demarcación de la actividad.....	336
6.2.2 Actualización historiográfica de la ingeniería sanitaria y ambiental.....	340
6.2.3 Ingeniería sanitaria y ambiental: componentes, funciones y orientaciones.....	345
6.2.4 Ingeniería sanitaria y ambiental: marcos, tendencias y retos.....	347
6.3 PANORAMA DE REFLEXIONES FILOSÓFICAS SOBRE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL	352
6.3.1 Antecedentes (s. XX) de reflexiones filosóficas sobre ingeniería sanitaria.....	352
6.3.2 Reflexiones filosóficas (s. XXI) sobre ingeniería sanitaria y ambiental.....	353
6.3.3 Reflexiones filosóficas en disciplinas fronterizas de la ingeniería ambiental.....	357
6.4 PERTINENCIA DE UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA	367
 7 LA INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA COMO <i>EXPLICATUM</i>	371
7.1 MUNDO MATERIAL: SISTEMA ÓNTICO DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA ...	374
7.1.1 Subsistema óntico (i): agencia humana de individuo y comunidades ingenieriles.....	377
7.1.2 Subsistema óntico (ii): sistemas artefacticos en ingeniería ambiental sanitaria.....	385
7.1.3 Subsistema óntico (iii): complejo institucional de ingeniería ambiental sanitaria.....	407
7.1.4 Subsistema óntico (iv): la ciudad como toposistema en ingeniería ambiental.....	415
7.2 ENTRE EL MUNDO Y LA CULTURA INGENIERIL: SISTEMAS SEMIÓTICOS	419
7.2.1 Lenguaje natural especializado de ingeniería ambiental sanitaria (<i>SLNias</i>).....	421
7.2.2 Lenguajes formales, de alta abstracción, en ingeniería ambiental (<i>SLFias</i>).....	424
7.2.3 Sistemas de representación gráfica en ingeniería ambiental (<i>SGias</i>).....	427
7.3 CULTURA DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA: SISTEMAS CULTURALES CONCEPTUALES	429
7.3.1 Saber ingenieril: sistema epistémico en ingeniería ambiental sanitaria (<i>SEPias</i>).....	430
7.3.2 Métodos: sistema metodológico de ingeniería ambiental sanitaria (<i>SMEias</i>).....	439
7.3.3 Valores: sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria (<i>SAXias</i>).....	446
7.3.4 Actitudes: sistema ético de ingeniería ambiental sanitaria (<i>SETias</i>).....	452
7.4 PRÁCTICA INGENIERIL: SISTEMAS PRAXIOLÓGICOS EN INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA	459
7.4.1 Transmisión cultural: sistema praxiológico académico de ingeniería ambiental.....	461
7.4.2 Cambio: sistema praxiológico de I+D+i en ingeniería ambiental sanitaria.....	463
7.4.3 Produciendo: sistema productivo en la ingeniería ambiental sanitaria.....	470
7.4.4 Control: sistema praxiológico de gestión de ingeniería ambiental sanitaria.....	477
7.5 SISTEMAS Y TIEMPO: HISTORICIDAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA	480
7.5.1 Historia general del sistema complejo de ingeniería ambiental sanitaria.....	480
7.5.2 Historicidad del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria.....	493
7.5.3 Presente (s. XXI): sistema complejo ingeniería ambiental sanitaria (<i>S²INGas</i>).....	497
 8 CONCLUSIONES	511
8.1 SOBRE PARTE 1ª: BASES PARA UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA DE TECNOLOGÍAS	512
8.2 SOBRE PARTE 2ª: UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE LA INGENIERÍA	512
8.3 SOBRE PARTE 3ª: CASO ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA DE INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA	515
8.4 CONSIDERACIONES FINALES	517
 BIBLIOGRAFÍA	519

INTRODUCCIÓN

Esta investigación filosófica surge como respuesta al extraordinario interés que, en su día, me suscitaron las reflexiones de Miguel Ángel Quintanilla sobre filosofía de la tecnología. Desde ese momento inicié un camino de exploración, a través de la filosofía de la tecnología, hacia la ingeniería como primer y más general destino, para llegar hasta la ingeniería ambiental sanitaria, como último y más concreto destino.

Estas investigaciones, como elucidación filosófica, surgen entonces desde el enfoque de la filosofía analítica de la tecnología de Quintanilla, en estrecha relación con la filosofía sistemista bungeana. De ahí el modelo general que se propone de elucidación filosófica sistémica Bunge-Quintanilla de tecnologías, orientado a las tecnologías ingenieriles. Así, el núcleo teórico resultante de este trabajo sería una elucidación filosófica sistemista de la ingeniería, con un caso de aplicación del modelo como es la ingeniería civil y ambiental sanitaria.

A cada momento se están diseñando, construyendo y explotando abastecimientos de agua a poblaciones, estaciones de depuración de aguas residuales urbanas (EDARU) y plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos (PTRSU). Son actividades ingenieriles fundamentales, en tanto su objetivo es el de proveer a las poblaciones de instalaciones para la protección de la salud pública y el medio ambiente. Estas actividades se realizan desde la ingeniería sanitaria, como “campo de la ingeniería civil que trata de los trabajos y proyectos para la protección y la promoción de la salud pública” y la ingeniería ambiental, como “ingeniería relativa a la reducción de la impurificación, contaminación y deterioro del medio ambiente en el que viven los seres humanos”, siguiendo las definiciones¹ de la Real Academia de Ingeniería (RAIng).

Estas actividades de ingeniería sanitaria e ingeniería ambiental² no son nuevas. Tanto la ingeniería civil como su especialidad en ingeniería sanitaria tienen un relevante historial de servicios al ser humano que puede medirse en siglos, mientras que el historial de servicios de la ingeniería ambiental ya es decano. Es sencillo observar que estas actividades ingenieriles tienen necesariamente una importante repercusión social (en términos de salud pública y bienestar colectivo), económica (oportunidades de actividad, así como costes de las infraestructuras y servicios asociados) y ecológica (en términos de calidad ambiental e integridad de los ecosistemas). Esto significa que las actividades de la ingeniería sanitaria y ambiental no sólo involucran aspectos puramente tecnológicos, sino que están inmersas en una red cada vez más compleja de diferentes cuestiones de tipo: normativo, político, económico, financiero, organizativo, demográfico, geográfico y medioambiental.

A pesar de los avances en tecnologías del medio ambiente y de las cuantiosas inversiones que se están realizando (a escala global, nacional y local), la magnitud, los cambios y la

¹ Definiciones de las acepciones “ingeniería sanitaria” e “ingeniería ambiental” según el Diccionario Español de Ingeniería (DEI 1.0) de la Real Academia de Ingeniería, <http://diccionario.raing.es/es>, acceso junio 2018. Estas definiciones serían un buen ejemplo del manejo terminológico en el ámbito ingenieril.

² Como puede observarse, comienzo hablando de dos actividades ingenieriles (sanitaria y ambiental) que se ocupan en parte de la misma materia. Lo hago para poner de manifiesto, como se verá más detalladamente, un ejemplo de denominación imprecisa de las actividades, y por tanto de la necesidad de una elucidación también en las clasificaciones. Más adelante, como se verá, se va a proponer la denominación como ‘ingeniería civil y ambiental sanitaria’ o, más sencilla de ‘ingeniería ambiental sanitaria’ para la actividad ingenieril a que me estoy refiriendo.

progresiva complejidad de la actividad humana y su entorno, hacen especialmente difícil el cumplimiento de los objetivos de la ingeniería sanitaria y ambiental como producto de acciones racionales orientadas (a objetivos). En este escenario cabe preguntarse sobre la conveniencia, disponibilidad y oportunidad de algún tipo de reflexiones filosóficas sobre la ingeniería sanitaria y ambiental, en tanto actividad humana racional práctica orientada a objetivos concretos.

La primera pregunta es sobre la conveniencia o no de reflexiones filosóficas acerca de la ingeniería sanitaria y ambiental. Esta pregunta podría enmarcarse en una más amplia, que ya se ha formulado en repetidas ocasiones: ¿Es necesaria una filosofía de la ingeniería? Una pregunta que, con todos los matices que puedan darse, nunca ha recibido una respuesta negativa. No solamente ningún autor ha afirmado que no sea necesaria una filosofía de la ingeniería, sino todo lo contrario: la ingeniería es un campo de actividad de interés y adecuado para las reflexiones filosóficas.³ Esta afirmación que vale para la ingeniería, en general, también vale para una especialización de la misma como es la ingeniería sanitaria (del campo de la ingeniería civil) y la ingeniería ambiental; pues tales actividades suman las problemáticas generales en tanto actividad ingenieril como las específicas de su área de especialización.

La siguiente pregunta que puede hacerse es si hay disponible algún tipo de reflexiones filosóficas sobre la ingeniería sanitaria y ambiental. La respuesta es que –en la medida que puede hacerse tal afirmación– esta disciplina no dispone de un corpus académico filosófico. Siendo notorio que no existan prácticamente reflexiones filosóficas sobre la ingeniería sanitaria, aún lo es más que tampoco haya apenas reflexiones sobre sus matrices disciplinarias: la ingeniería civil y la ingeniería ambiental. Es más notorio aún, si cabe, que apenas existan unas pocos trabajos sobre aspectos genuinamente filosóficos de la ingeniería, aunque en los últimos años se ha observado un cierto despertar (desde filósofos de la tecnología e ingenieros) por una filosofía de la ingeniería (especialmente en el campo de la ética).

La tercera pregunta que cabe realizarse, dadas las respuestas a las anteriores, es sobre la oportunidad de realizar en la actualidad una serie de reflexiones filosóficas sobre la ingeniería sanitaria y ambiental. Parece claro que la importancia y complejidad de la ingeniería sanitaria y ambiental hacen conveniente disponer –aunque sea en pequeña medida– de contenidos conceptuales más claros y definidos, tanto internamente en cuanto a actividad racional práctica como en relación al entorno en el que se desarrolla. Esto, en todo caso, tendría un interés relativamente limitado. Por esta razón, cabe pensar que resultaría más provechoso contribuir primero a disponer de un esquema general de reflexiones filosóficas sobre la ingeniería, y utilizar el caso de la ingeniería sanitaria y ambiental como banco de pruebas (y estudio de caso aplicado) de ese modelo más general de reflexiones filosóficas sobre la ingeniería.

En resumen, tanto respecto a la ingeniería ambiental sanitaria, como en general para la ingeniería, puede afirmarse: que claramente resultará de interés que sobre estas materias ingenieriles se realicen reflexiones filosóficas, por cuanto permitirán en todo caso una mayor comprensión intelectual del fenómeno ingenieril; que la ingeniería ambiental sanitaria es actualmente una disciplina carente de reflexiones filosóficas, así como también sucede con las

³ Valgan, en este sentido, las afirmaciones de Quintanilla (2005: 39), en donde puede sustituirse, como se explicará más adelante, el término ‘técnica’ por el de ‘ingeniería’: “El propósito [de la filosofía de la técnica] es lograr una mayor comprensión intelectual del fenómeno de la técnica y una mayor profundidad en el análisis de los problemas filosóficos especialmente relevantes para la técnica”.

disciplinas matrices (ingeniería civil e ingeniería ambiental); y que las investigaciones filosóficas sobre ingeniería son aún minoritarias, y que no se dispone de un marco de elucidación filosófica de tecnologías ingenieriles. De lo que se deduce el interés y oportunidad de realizar investigaciones filosóficas en el área de la ingeniería que puedan conducir (como caso concreto, pero no exclusivamente) a una mayor comprensión intelectual y clarificación conceptual de la actividad tecnológica de la ingeniería ambiental sanitaria.

La ingeniería ambiental sanitaria, como objeto final de la investigación, es una actividad ingenieril. Se trata de una actividad humana y social, racional y práctica, basada en metodologías y conocimientos tanto de orden científico como técnico, cuyo objetivo es la transformación del medio para satisfacción de necesidades básicas humanas, a través de la mejora de las condiciones de salud pública y calidad ambiental de los ecosistemas; una actividad humana y social en donde ese ámbito tecnológico se incardina en el entorno ambiental o ecológico. Con esto se ponen de manifiesto tres áreas importantes del campo de juego de la ingeniería: socio-económica, ecológico-territorial, y tecno-científica.

De este modo, la investigación denominada “Una elucidación filosófica sobre la ingeniería ambiental sanitaria” trata de ser una exploración, con enfoque y metodología filosófica, sobre un campo de actividad humana (racional y práctica) conocido tradicionalmente como ingeniería sanitaria, una disciplina que está a caballo entre la ingeniería civil y la ingeniería ambiental. Utilizo el término ‘elucidación’ por cuanto contiene el objeto primario de esta investigación, como es la clarificación conceptual. Una búsqueda de la claridad que, de acuerdo con el ingeniero, lógico y filósofo –cronológicamente hablando– Ludwig Wittgenstein, constituye la esencia de la actividad filosófica.

Por eso, quiero poner en primer plano el papel esencial que Wittgenstein le otorga a la elucidación: “El objetivo de la filosofía es la clarificación lógica de los pensamientos. La filosofía no es una doctrina, sino una actividad. Una obra filosófica consta esencialmente de aclaraciones. El resultado de la filosofía no son ‘proposiciones filosóficas’, sino el que las proposiciones lleguen a clarificarse. La filosofía debe clarificar y delimitar nítidamente los pensamientos, que de otro modo son, por así decirlo, turbios y borrosos.”⁴

Esta elucidación filosófica de la ingeniería civil y ambiental sanitaria se plantea como un proceso dinámico y abierto de investigación orientada a la clarificación, desde una perspectiva filosófica, de una actividad ingenieril que como tal se sitúa predominantemente en el ámbito tecnológico⁵. Este es un importante punto de partida. Considero, siguiendo especialmente a Bunge (1979, 1985) y a Quintanilla (1989, 2005)⁶, a la ingeniería como una clase de tecnología (que es a su vez una clase de técnica fundada en ciencias). El marco en que se produce esta elección es a partir de Bunge (1985), quien propone cinco tipos de actividades tecnológicas: ingeniería, biotecnología, sociotecnología, tecnología de la información y tecnología general.⁷

⁴ Wittgenstein, L. (1922): *Tractatus logico-philosophicus*, Prop.: 4.112 (ed. castellano, Madrid: Alianza Editorial, 2009).

⁵ Como se expondrá más adelante, son variados los enfoques filosóficos que se encuentran respecto de la ingeniería, pudiendo destacarse los realizados (en su caso) desde la filosofía de la ciencia, desde la filosofía de la tecnología, desde la filosofía práctica o desde una denominada filosofía de la ingeniería. Se observará que el hecho de considerar la tecnología como actividad, y la ingeniería como un tipo de actividad tecnológica, no es evidente.

⁶ Quintanilla, M.A. (2005): *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*, México: FCE.

⁷ Cfr. Bunge, M. (1985): *Epistemology & Methodology III: Philosophy of Science & Technology, part. I*, p. 1.

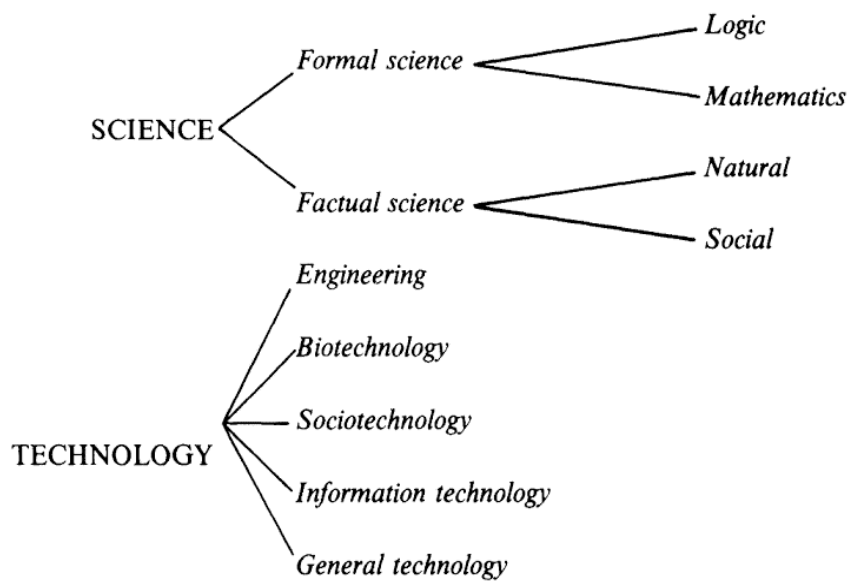


Fig. 1) Campos de investigación en filosofía de la ciencia y la tecnología (Bunge, 1985: 1)

De entre todas estas actividades, la ingeniería es probablemente la que más aparece como ejemplo prototípico de actividad técnica o tecnológica. Así, cuando en filosofía de la tecnología se recurre a ejemplos de actividades, casi siempre se utiliza el campo de la ingeniería, que reúne diferentes actividades ingenieriles que se deben a cometidos diversos como son los de las ingenierías de caminos, ingeniería de minas, ingeniería química, ingeniería computacional, o la ingeniería ambiental sanitaria. En lo que sigue, asumiendo la diversidad de ingenierías, me referiré también a la ingeniería, por mor de la de consideración de que, pese a las especificidades de cada tipo de ingeniería, hay algo común a todas ellas que legitima proceder a hablar de “ingeniería” (en singular), de manera similar a cómo pese a haber diferentes ciencias es habitual, y legítimo, hablar de manera genérica de ciencia. No obstante, cuando sea oportuno hablaré de ingenierías específicas y, claro está, lo haré específicamente al tratar sobre la ingeniería ambiental sanitaria.

Esa condición tecnológica de la ingeniería es la que facilita que las claves metodológicas más importantes para esta elucidación filosófica ingenieril se busquen en los campos de la filosofía de la ciencia y de la filosofía de la tecnología. En todo caso, y como se expondrá, los fundamentos de la presente elucidación filosófica ingenieril se encuentran en las obras de los dos autores citados: Mario Bunge y Miguel Ángel Quintanilla. Este último viene a afirmar que “entre los autores actuales la obra de Mario Bunge es en mi opinión el mejor punto de referencia para construir una filosofía de la técnica de carácter riguroso” (Quintanilla, 2005: 44).

Al asumir las posiciones de Bunge y de Quintanilla estoy asumiendo, bajo un enfoque general sistémico y naturalista, que la ingeniería es una clase de actividad tecnológica, privilegiando su carácter como actividad (en tanto sistema de acciones) frente al resultado (artefacto). A partir de lo cual podría hablarse de ingeniería como una determinada clase de ‘sistemas de acciones tecnológicas’, y también de ‘tecnologías ingenieriles’.

Si bien los fundamentos teóricos de este proceso de elucidación filosófica se apoyan especialmente en los trabajos de Bunge y Quintanilla, esto no significa que no se hayan tomado en cuenta y considerado otras aportaciones, especialmente desde el campo

consolidado de la filosofía de la tecnología, de la filosofía ingenieril (desarrollada por técnicos con experiencia ingenieril) o de la emergente filosofía de la ingeniería. Desde hace menos de una década, la influencia más importante en tecnología e ingeniería aparece en el conocido como ‘giro empírico’, en donde desde una filosofía de la tecnología más genérica se ha transitado a una que se ocupa de cuestiones más específicas y concretas, que se enfocan principalmente a través de tres ventanas filosóficas: ontología, epistemología y ética. Este giro empírico está ofreciendo una mayor aplicabilidad de las reflexiones filosóficas, pero el panorama sigue mostrando fragmentos pequeños (trabajados con gran detalle) de cuestiones filosóficas o problemas técnicos; aunque ello sin que se observe una visión integral sobre una materia o disciplina tecnológica.

En este escenario y como se ha observado, tanto la ausencia de reflexiones filosóficas sobre la ingeniería sanitaria y ambiental, como la escasez de modelos de investigación filosófica sobre actividades tecnológicas, hacen –en mi opinión– conveniente y oportuno el intento de proponer una secuencia metodológica para culminar en una elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria. Entiendo que esa secuencia metodológica, a partir de la oportuna revisión de antecedentes, debe realizarse en dos etapas o partes: en primer lugar al diseño y propuesta de un modelo de elucidación filosófica de tecnologías ingenieriles; la segunda parte, con la aplicación de ese modelo de elucidación filosófica de actividades al caso concreto de la disciplina de la ingeniería ambiental sanitaria.

Para esa primera parte (modelo de elucidación filosófica de tecnologías), puede arrancarse con la definición de Bunge (1985: 231) de tecnología como “campo de conocimiento relativo al diseño de artefactos y planificación de su ejecución, operación, ajuste, mantenimiento y control a la luz del conocimiento científico”⁸ que es por completo válida para caracterizar la ingeniería o, si se quiere, para caracterizar la tecnología ingenieril. Una definición que Bunge (1985) utiliza como referencia introductoria a la hora de establecer los componentes, para un momento dado, de una familia tecnológica entendida como sistema⁹, y en donde deben considerarse los siguientes elementos: comunidad profesional, sociedad, dominio, base filosófica, base formal, base específica, problemática, conocimiento de base, objetivos, metodología y valores.

No obstante, como se verá, estos componentes pueden tomarse como una orientación de los contenidos para un análisis filosófico de una actividad tecnológica dada (como sería el caso de la ingeniería); pero no completan los contenidos (componentes, entorno y estructura) para el análisis de sistemas en las condiciones que Bunge (1979, 2012) ya propone en su volumen sobre ontología. La combinación de estos dos enfoques es uno de los retos más importantes de la presente investigación; junto con el encaje de la tríada filosófica (ontología, epistemología y axiología) de las reflexiones sistémicas de Bunge y de Quintanilla, así como de las aportaciones de los autores del llamado ‘giro empírico’ de la filosofía de la tecnología.

En resumen, el modelo de elucidación filosófica de tecnología ingenieril que se va a formular, se apoyará tanto en los componentes citados de un sistema tecnológico, aplicados al

⁸ Bunge, M. (1985): *Part II: Life Science, Social Science and Technology, Epistemology & Methodology III: Philosophy of Science and Technology*, Treatise on Basic Philosophy. Volume 7, 1985, Dordrecht/Boston/Lancaster: D. Reidel Publishing.

⁹ La visión sistémica que se impulsa en la filosofía de Mario Bunge está en estrecha relación con la precedente obra de Ludwig von Bertalanffy, *Teoría general de los sistemas* (1968). En este sentido destacar cómo en la introducción de su obra, el autor señala que una de las tres grandes áreas que pretende abordar con el libro sería la ‘filosofía de los sistemas’ “a saber, la reorientación del pensamiento y la visión del mundo resultante de la introducción del ‘sistema’”, lo que puede dividirse en tres partes: “primero dar con la ‘naturaleza del animal’. Se trata de la ontología de sistemas” (p. xv) (...) “esto nos lleva a la epistemología de sistemas”, mientras que “la tercera parte se ocupará de las relaciones entre el hombre y el mundo, o de lo que llaman ‘valores’ en el habla filosófica” (p. xvii).

caso de la ingeniería y considerados conjuntamente tanto con el enfoque ontológico de marco sistémico de Bunge (1979, 2012)¹⁰, como con el enfoque tecnológico sistémico de Quintanilla (1989, 2005), privilegiando las consideraciones filosóficas ontológicas, epistemológicas y axiológicas. De alguna manera, podrá hablarse de un modelo de ‘elucidación filosófica sistemista’ o simplemente de ‘elucidación sistemista’, en donde se considera la ingeniería (tecnología ingenieril) como un sistema de acciones, resultando lo que podría denominarse un ‘modelo de elucidación filosófica sistemista de tecnologías ingenieriles’.

Como segunda parte metodológica, y una vez planteado un modelo de elucidación filosófica de tecnologías ingenieriles, procede someter a contraste su potencial clarificador, aplicando en este caso el modelo a la elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria. Puede señalarse que el proceso general de elucidación filosófica de actividades tecnológicas, en paralelo con los procesos clásicos de elucidación filosófica conceptual, va a tener dos estadios señalados: en primer lugar, el *explicandum*, que va a corresponderse con el conjunto de actividades relacionadas con conocimientos organizados, de uso tecnológico común, para la solución de problemas y necesidades del ámbito ambiental sanitario, o (dicho de otra forma) lo que representaría el estadio de práctica ‘ingenua’ de la actividad tecnológica, en este caso de la ingeniería sanitaria y ambiental. Como estadio objetivo final se encontraría, derivado de la aplicación del modelo de elucidación filosófica de actividades tecnológicas, el *explicatum*, o la elucidación de la concreta actividad tecnológica ingenieril ambiental sanitaria como un conjunto organizado y sistematizado de determinados componentes.

¹⁰ Bunge, M. (2012): Tratado de filosofía. Vol. IV, *Ontología 2: Un Mundo de Sistemas*. Barcelona: Editorial Gedisa (ed. original en inglés, 1979).

1 OBJETO Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 OBJETO Y OBJETIVOS DE ESTUDIO

Si se dispusiera de una filosofía de la ingeniería sanitaria, esta elucidación filosófica podría arrancar de un punto de partida mejor conocido. Si por lo menos pudiera contarse con una filosofía de la ingeniería civil o de la ingeniería ambiental –como en alguna medida van teniendo actividades humanas conexas como la arquitectura o la medicina–, esta elucidación podría disponer de un marco de referencia más o menos próximo. Sin embargo, el caso es que aún hoy no puede hablarse en propiedad ni siquiera de una moderna filosofía de la ingeniería, con todos los matices que esta afirmación requiere. Esta es la razón principal por la que, en su momento, emprendemos una investigación filosófica planteada como elucidación filosófica de la ingeniería civil y ambiental sanitaria.

Esta elucidación filosófica de la ingeniería civil y ambiental sanitaria, va a ser una aproximación gradual –hacia un punto de encuentro– entre la elucidación filosófica de la ingeniería (en primera aproximación) y de la ingeniería civil y ambiental (en segunda aproximación), con la actividad de la ingeniería sanitaria contemplada en su sentido más amplio: por supuesto el resultado o productos de esta actividad ingenieril, pero sobre todo la actividad, tanto en su ciclo básico de proyecto (diseño, construcción y operación de sistemas tecnológicos), como en su relación con otras acciones sociales que también son propias de la ingeniería (pedagogía y formación de profesionales, investigación y desarrollo tecnológico, ...).

Los objetivos de esta investigación son, siguiendo básicamente la secuencia metodológica: 1) seleccionar un marco base de metodología para una elucidación filosófica de una actividad ingenieril como es la ingeniería civil y ambiental sanitaria; 2) señalar posibles las pautas de construcción y transformación de la ingeniería sanitaria, desde sus orígenes tecnológicos, a mediados del siglo XIX, hasta la actualidad; 3) elucidar los términos, demarcación y alcances tanto de la ingeniería sanitaria, como de las ingenierías civil y ambiental, como clases artificiales; 4) establecer una metodología integral para la elucidación filosófica de esta actividad ingenieril; y 5) aplicarla al caso general de las ingenierías civil y ambiental, y específicamente al caso concreto de la ingeniería sanitaria.

1.2 ESTADO GENERAL DE LA CUESTIÓN

Por estado general de la cuestión se entiende, en consecuencia con el título de la investigación ‘Una elucidación filosófica sobre la ingeniería ambiental sanitaria’, el estado de los siguientes apartados, revisados secuencialmente desde lo más concreto hasta lo más general: (i) investigaciones filosóficas sobre ingeniería sanitaria y ambiental; (ii) investigaciones filosóficas sobre ingeniería civil y ambiental; (iii) investigaciones filosóficas generales sobre ingeniería; y (iv) investigaciones, desde la filosofía de la tecnología, de áreas filosóficas de interés para la ingeniería.

1.2.1 Investigaciones filosóficas en ingeniería sanitaria y ambiental

La ingeniería sanitaria es una especialidad que se nutre tanto de su matriz disciplinar, la ingeniería civil, como de la ingeniería ambiental, una ingeniería de nuevo cuño. La ingeniería sanitaria, aunque esta denominación tiene variantes históricas, geográficas y culturales (denominándose también ingeniería sanitaria y ambiental, o ingeniería ambiental), es una actividad ingenieril que se ocupa fundamentalmente del diseño, construcción y operación de sistemas de abastecimiento de aguas, saneamiento y depuración de aguas residuales, de la gestión de los residuos sólidos urbanos, y de aspectos sanitario-ambientales de los ámbitos urbanos como la contaminación atmosférica, la contaminación de los suelos, el ruido y las radiaciones.

Es una actividad ingenieril sumamente importante, no solamente porque su objeto está en la base de la pirámide de necesidades humanas –a través de la protección de la salud y calidad ambiental de los ámbitos urbanizados– sino también porque moviliza una ingente cantidad de recursos económicos y, porque tiene unas extraordinarias repercusiones sociales y ambientales. La ingeniería sanitaria, como actividad ingenieril, es una actividad intensiva en el uso del conocimiento y de los artefactos tecnológicos. A esto se le suma el hecho de que la ingeniería sanitaria, que es una importante actividad económica y social, se encuentre en lo que podría denominarse una ‘crisis de identidad’ en un escenario cambiante de exigencias ambientales, económicas y sociales, tanto ante problemas locales, como ante problemas globales como el déficit de servicios hídricos y ambientales, el proceso de urbanización planetario y el cambio climático.

Estas cuestiones podrían sugerir que la ingeniería ambiental sanitaria habría de ser un excelente banco de pruebas, siguiendo una expresión típicamente bungeana, para investigaciones de filosofía teórica y práctica.

Sin embargo, pese a todo, incluso a la creciente fortaleza de las investigaciones filosóficas sobre diferentes ciencias relacionadas con el campo de la ingeniería sanitaria (biología, química, ciencias naturales...), no ha habido prácticamente ninguna preocupación filosófica por la ingeniería sanitaria. Bien entendido que ni los filósofos han sentido la necesidad o conveniencia de tratar sobre la ingeniería sanitaria, ni tampoco los profesionales de la ingeniería civil, o más específicamente quienes se dedican a la ingeniería sanitaria han sentido la necesidad (o han tenido presente el interés y conveniencia) de revisar filosóficamente su actividad.

Cuando se ha planteado realizar una investigación filosófica sobre la ingeniería sanitaria, ya se ha tenido en cuenta que esta disciplina ingenieril –en lo que puede conocerse– no ha sido apenas objeto de un tratamiento filosófico específico. Algo que además de ocurrirle a la ingeniería sanitaria, le pasa también a la ingeniería civil, que podría considerarse como su área ingenieril matriz; y lo mismo acontece con la nueva ingeniería ambiental. Lo que ocurre con estas disciplinas ingenieriles ocurre también con otras áreas de la ingeniería y la tecnología, con la excepción de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC),

que están recibiendo durante los últimos años una gran atención por parte de un amplio abanico de las disciplinas del conocimiento.

Puede afirmarse entonces que, en la práctica, no se dispone de un corpus filosófico sobre la disciplina de ingeniería sanitaria y ambiental.

1.2.2 Investigaciones filosóficas sobre ingenierías civil y ambiental

El hecho de que no se hayan realizado investigaciones filosóficas sobre la ingeniería ambiental sanitaria, como se acaba de exponer, no supone que no se hayan realizado algunas investigaciones filosóficas sobre ingenierías y materias de una cierta proximidad tanto a la ingeniería civil como a la ingeniería ambiental. En este caso podríamos hablar de dos tipos de investigaciones. En primer lugar a trabajos filosóficos, desde cualquiera de las ramas de investigación filosófica, que han encontrado la ingeniería, o elementos de la ingeniería, como partes interesantes para la investigación filosófica. En segundo lugar, aquellas reflexiones realizadas desde el mundo de la ingeniería con contenidos filosóficos generales o particulares (ontológicos, metodológicos, pedagógicos...)

Hay que insistir en que en los antecedentes de reflexión filosófica sobre la ingeniería apenas se encuentran referencias, no ya de la ingeniería sanitaria, sino prácticamente tampoco de las grandes disciplinas ingenieriles a que pertenece, como la ingeniería civil o la ingeniería ambiental. Si las aproximaciones filosóficas a la ingeniería han sido muy reducidas, aún lo han sido menos las aproximaciones a disciplinas concretas, y cuando se dan, se trata de casos muy puntuales, o incluso solamente ejemplos.

Algunas débiles referencias filosóficas sobre la ingeniería civil o ambiental aparecen como ejemplos en el marco de reflexiones filosóficas sobre tecnología. Así, cuando Mario Bunge (1963: 86-87) está hablando de la paradoja del tecnólogo, utiliza la evolución de la ingeniería hidráulica como ejemplo. De acuerdo con Bunge “la paradoja consiste en la incompatibilidad del máximo conocimiento con la máxima eficacia. La habilidad del tecnólogo consistirá en lograr *la máxima eficacia con el mínimo conocimiento posible* (es decir, con ayuda del modelo teórico más simple).”¹¹ Esta paradoja se representa con una descripción de la ingeniería hidráulica.

La tarea del tecnólogo experimental consiste, pues, en poner a prueba modelos tecnológicos teóricos con ayuda de modelos materiales. Pero esta tarea es precedida por la construcción de modelos tecnológicos teóricos que, como hemos visto, suelen diferir de los modelos científicos, aunque sólo sea porque deben hacer lugar a un mayor número de variables. Piénsese en el caso del ingeniero hidráulico de comienzos de siglo: por una parte, disponía de un cúmulo de conocimientos prácticos inconexos; por la otra, tenía a la vista la hidrodinámica clásica, proeza matemática que trata de fluidos ideales (sin viscosidad) y que, por tanto, es incapaz de dar cuenta de fenómenos tan obvios como la resistencia de un cuerpo que cae en el seno de un fluido. El hidráulico práctico se contentaba entonces con un conjunto de reglas empíricas halladas en muchos casos por artesanos; de todas maneras, la hidrodinámica le exigía un esfuerzo matemático desproporcionado con su utilidad práctica. Pero estas reglas empíricas son superficiales, cubren clases restringidas de hechos, y no tienen en cuenta fenómenos a primera vista secundarios, tales como la turbulencia, pero que en realidad son muy importantes para grandes velocidades. La tarea del ingeniero hidráulico desde principios del siglo hasta el momento ha sido, entonces, acercar la hidráulica práctica a la teoría hidrodinámica, tornando a

¹¹ Bunge, M. (1963) “Tecnología, ciencia y filosofía”, Anales de la Universidad de Chile, enero-abril 1963, p. 87.

ésta cada vez más realista. Y aquí se presenta una dificultad: a medida que una teoría se hace más realista, se hace también más complicada; pero a medida que se hace más complicada se hace menos práctica.

En este mismo sentido, por ejemplo, en Tokaty (1971) aparece una de las pocas referencias con contenidos filosóficos específicos sobre elementos de la ingeniería civil, en este caso se trata de un estudio histórico-filosófico sobre una ciencia ingenieril, como es el caso de la mecánica de fluidos¹².

Otro caso sería el de Bruce Seely (1984, 1988), quien ha examinado, desde una perspectiva histórica y epistemológica, el intento fallido de los ingenieros de caminos (*highway engineers*) por reconstruir por completo la investigación en carreteras en términos científicos durante el período de ‘euforia procientífica’ que sigue a la I Guerra Mundial. El primer trabajo de Seely (1984) es un extenso artículo¹³ en la revista *Technology & Culture*; mientras que el segundo (1988) es una publicación detallada relativa a la construcción del sistema norteamericano de autopistas¹⁴.

Si bien no pueden considerarse propiamente como antecedentes de una filosofía de la ingeniería ambiental, sí que pueden citarse en este apartado algunas de las contribuciones más importantes realizadas a principios de los años noventa, desde una perspectiva filosófica, sobre las conexiones entre la ecología y la tecnología. Los trabajos de *Papers from 1993 Peniscola (Spain) Meeting*, publicados¹⁵ en la revista de la *Society for Philosophy and Technology*, constituyen una visión amplia de cuestiones con un especial valor tecnológico y ambiental.

Son los trabajos presentados por Albert A. Anderson “Why Prometheus Suffers: Technology and the Ecological Crisis”, por Stanley R. Carpenter “When are Technologies Sustainable?”, por César Cuello Nieto y Paul T. Durbin “Sustainable Development and Philosophies of Technology”, por Dick G. A. Koelega “Technology, Ecology, Autonomy and the State”, por Friedrich Rapp “Explosion of Needs, Quality of Life, and the Ecology Problem”, y por Raphael Sassower “Intellectual Responsibility for an Ecology Agenda”.

Como conclusión previa, puede afirmarse que en el período de antecedentes analizado (hasta finales del XX) no se cuenta con ninguna filosofía, ni aproximación filosófica destacable, no ya sólo de la ingeniería sanitaria, sino tampoco a la ingeniería civil, ni a la ingeniería ambiental.

Esto no significa que no se hayan realizado diversas investigaciones filosóficas específicas, bien desde la perspectiva epistemológica (con incursiones notables en el campo de las teorías ingenieriles, como en el caso de Cuevas, 2000, 2003, 2005, 2008) o desde la axiología (fundamentalmente sobre la ética ingenieril y la nueva problemática ambiental).

Pero esas incursiones filosóficas que han alcanzado a la ingeniería civil y ambiental sanitaria no son suficientes para declarar la existencia de un corpus filosófico ingenieril. Ni siquiera, pensando en toda la actividad ingenieril, se puede –hoy por hoy– hablar propiamente de una filosofía de la ingeniería; aunque se podría decir que en estos momentos se está aproximando la conformación de un dominio filosófico de la ingeniería. Hasta el momento, el

¹² Tokaty, G.A. (1971): *A History and Philosophy of Fluids Mechanics*, ed. G.T. Foulis & Co. (reimpresión en New York: Dover, 1994).

¹³ Seely, B.E. (1984): “The Scientific Mystique in Engineering: Highway Research at the Bureau of Public Roads, 1918-1940”, *Technology & Culture*, 25: 798-831.

¹⁴ Seely, B.E. (1988): *Building the American Highway System: Engineers as Policymakers*, Philad., PA: Temple Univ. Press.

¹⁵ Véase: *Techné: Journal of Society of Philosophy and Technology*, vol. 1, nº 1-2, Fall 1995.

dominio filosófico ingenieril (sobre y desde la ingeniería) está mayoritariamente bajo el paraguas de la filosofía de la tecnología.

Al plantear esta investigación como una elucidación filosófica de la ingeniería civil y ambiental se está entroncando con la elucidación como una actividad genuinamente filosófica de clarificación conceptual, orientada a una actividad ingenieril, a una actividad humana fundamental que utiliza el conocimiento para la transformación de la realidad al servicio de unos objetivos o intereses.

1.2.3 Investigaciones filosóficas sobre ingeniería y filosofía de la ingeniería

Este apartado reúne diversas publicaciones que se han realizado propiamente tanto sobre lo que sería una filosofía de la ingeniería en general, como sobre aspectos filosóficos relacionados con las ingenierías. A lo largo del avance de las décadas del siglo XX aparecen intervenciones muy puntuales sobre filosofía de la ingeniería, lo que serían de alguna manera demandas más o menos desarrolladas sobre la necesidad de una filosofía de la ingeniería. Valga como ejemplo de los años sesenta el artículo *The Philosophy of Engineering* (1966) de Greber, un ingeniero del Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE).

En la segunda mitad de la década de los setenta, puede señalarse la expresiva comunicación de una llamada para una filosofía de la ingeniería¹⁶ de George Sinclair (1977) a la revista *Technology and Culture*, señalando las dificultades que encuentra en ese momento la historia de la tecnología para alcanzar los niveles de comprensión necesarios para resolver los problemas causados por el impacto de la tecnología sobre la sociedad moderna. Las dificultades se encuentran ya desde la definición de tecnología, y se remarca la necesidad de una investigación rigurosa sobre la propia naturaleza de la tecnología. Una investigación en donde se pone de manifiesto el interés por una filosofía de la ingeniería.

A principios de los años ochenta puede mencionarse el artículo de Lewin (1983) sobre filosofía ingenieril¹⁷, en donde se pregunta si ésta desvela una tercera cultura (a sumar a la cultura de las humanidades y la cultura de la ciencia, según Snow). Pero las reflexiones de Lewin van más allá para incluir una aguda reflexión sobre la demanda de una formación ingenieril adecuada al mundo tecnológico, cuyos contenidos y metodología conectarían mejor el dominio de las ciencias –renovadas por la visión de las revoluciones científicas– con el dominio tecnológico ingenieril, hasta el punto que establece una íntima correlación entre el hacer científico y el hacer ingenieril en tanto están orientados a la resolución de problemas, bajo un enfoque sistémico.

En una fecha tan relativamente temprana, Lewin presenta, además de reflejar la metodología ingenieril de resolución de problemas (especificación del problema, estadio de síntesis, estadio de análisis, y estadio de implementación), propone lo que podrían considerarse unas líneas maestras para un programa de renovación pedagógico de la ingeniería, apoyado en una visión filosófica de la actividad ingenieril, en donde afirma que el enfoque del diseño en la actividad ingenieril puede ampliarse si se plantea como “una metodología de resolución de problemas basada en modelos de sistemas abiertos y el uso de métodos formales de evaluación” (Lewin, 1983: 131).

La referencia bibliográfica sobre filosofía de la ingeniería, aparentemente obligada, de mediados de los años noventa es la obra de Carl Mitcham *Thinking through Technology: The Path between Engineering and Philosophy* (1984); aunque el título sea tal vez más sugerente (respecto a la filosofía de la ingeniería) que preciso, puesto que este libro es en gran medida

¹⁶ Sinclair, G. (1977): “A Call for a Philosophy of Engineering”, *Technology and Culture*, vol. 18, n° 4, pp. 685-689.

¹⁷ Lewin, D. (1983): “Engineering Philosophy: The Third Culture?”, *Leonardo*, vol. 16, n° 2, pp. 127-132.

una recopilación de los trabajos previos de Mitcham sobre filosofía de la tecnología. El autor utiliza el término ‘filosofía ingenieril’ para referirse a la producción de la comunidad filosófica ingenieril frente a la comunidad humanística de la filosofía, cuando en la primera hay una relativa abundancia de autores con formación ingenieril o técnica. Aunque así pudiera deducirse del título, la obra de Mitcham no presenta un discurso filosófico sobre la ingeniería ni desde la ingeniería, sino que mantiene la línea decana de este autor enfocada en la tecnología. Ninguno de los diez capítulos del libro trata expresamente sobre la ingeniería, sino que aparece puntualmente al hablar de cuestiones como la ética, o el diseño. Así, este trabajo de Mitcham puede considerarse más que como una referencia antecedente de la filosofía de la ingeniería, como una referencia –en este caso de indudable presencia– en la filosofía de la tecnología.

Como ha podido observarse en el apartado anterior, la idea de una filosofía de la ingeniería ha ido apareciendo, puntualmente, una y otra vez, desde mediados del siglo XX. La mayor parte de este esfuerzo se ha dedicado a incidir, por parte de la ingeniería, en reclamar la atención de la reflexión filosófica, en consolidar un discurso de autoafirmación como actividad de interés suficiente para la filosofía, en revisar su filosofía pedagógica y, muy especialmente, en las consideraciones éticas ingenieriles. De hecho, la ética sería prácticamente la única área de la ingeniería del que puede decirse que hay un corpus abundante formado ya a lo largo del siglo XX.

A finales del siglo XX y ya a principios del XXI, cuando diversos grupos de filósofos incrementan su interés en las consideraciones filosóficas sobre la tecnología y, específicamente sobre la ingeniería, se detectan desarrollos más completos en la dirección de una filosofía de la ingeniería. Podría hablarse, con todas las prevenciones, de tres escuelas emergentes de filosofía ingenieril, dos occidentales y una oriental.

Así, habrá que esperar hasta el año 2003 para encontrar el libro *Engineering Philosophy* de Louis L. Bucciarelli, ingeniero profesor del Massachusetts Institute of Technology (MIT), quien intentar mostrar que la filosofía es importante para la ingeniería. En dicho texto se ocupa de algunos problemas de orden ontológico, epistemológico y pedagógico de la ingeniería. Sin embargo, como se ha comentado, aún está casi vacante un corpus filosófico de la ingeniería. Este hecho resulta aún más sorprendente a la luz de la importancia que ha tenido y que tiene la ingeniería en el desarrollo humano, social, cultural y económico.

Que a finales del siglo XX no se disponga todavía de una completa y elaborada filosofía de la ingeniería no supone que no se haya escrito –tanto desde la filosofía como desde la ingeniería– sobre diversas cuestiones y puntos de contacto entre ambas. Como se verá más adelante, hay algunos trabajos que abordan cuestiones de ética ingenieril, ontológicas y epistemológicas, entre otras.

Como es conocido, las características que requiere una disciplina académica para considerarse como relativamente madura, o al menos formada, es disponer de una serie mínima de autores, de una agenda de investigación, y de un espacio de intercomunicación. La filosofía de la ingeniería se encuentra en evolución hacia esas condiciones básicas. La formación de la agenda de temas de investigación de la comunidad emergente de filosofía de la ingeniería revela tanto los antecedentes de partida como las tendencias constitutivas de esta disciplina emergente.

Ya desde los primeros años del siglo XXI puede observarse un movimiento creciente, de diversos autores (Louis L. Bucciarelli, Ibo Van de Poel, David E. Goldberg...) y temas, que trabajan activamente para establecer una disciplina de la filosofía de la ingeniería. Como se ha comentado, el ingeniero Bucciarelli, del MIT, es el primero conocido en publicar una filosofía ingenieril en el ámbito euroamericano.

En paralelo con este proceso de emergencia de la filosofía de la ingeniería euroamericana, podría hablarse de la que podría llamarse ‘escuela oriental de filosofía de la ingeniería’. Ésta no ha sido bien conocida en el ámbito euro-americano hasta hace escasos años. Los trabajos de este colectivo son fruto de un programa de desarrollo de filosofía desde la Academia de Ciencias e Ingeniería de China, en donde uno de los más destacados representantes sería Bo-Cong Li (2002) con *An introduction to philosophy of engineering*¹⁸, una obra que al estar escrita originalmente en chino no ha tenido difusión fuera de ese dominio lingüístico.

En todo caso, de alguna manera, el nacimiento de esta comunidad occidental de filosofía de la ingeniería podría situarse en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT, Boston), de la mano de Louis L. Bucciarelli, quien publica el libro *Engineering Philosophy* en 2003. Podría decirse que la filosofía de la ingeniería germina en un instituto tecnológico, de la mano de especialistas en ingeniería que, junto a sus reflexiones, reclamarán la presencia y participación de los filósofos.

En el año 2006, un grupo de filósofos e ingenieros se reúne en la división de ingeniería de sistemas del MIT, bajo la dirección del ingeniero Taft Broome, para debatir sobre la necesidad de propiciar una mayor interacción entre los profesionales de la ingeniería y de la filosofía. Como resultado de estos primeros encuentros se programan dos talleres internacionales: para 2007 en la Delft University of Technology, cuyo tema fue: la ingeniería se encuentra con la filosofía y la filosofía se encuentra con la ingeniería; y para 2008 en la Royal Academy of Engineering (RAE) de Londres. Una selección de los resultados del primero de esos dos talleres, serán publicados en el año 2010 por la editorial Springer, bajo el título *Philosophy and Engineering. An Emerging Agenda*. Un volumen que se convierte en una de las primeras y más sustanciales referencias de la emergente filosofía de la ingeniería, en donde se recogen tres temas esenciales: filosofía, ética y reflexión.

En paralelo, durante los años 2006 y 2007, la Royal Academy of Engineering, ya ha impulsado el desarrollo de una serie de seminarios sobre ingeniería y filosofía que se publican en dos volúmenes. El primer volumen incluye trabajos de tres seminarios sobre los temas: ¿Qué es la ingeniería?; ¿Qué es el conocimiento ingenieril? Ingeniería de sistemas y diseño ingenieril; y IA e IT: donde se encuentran la ingeniería y la filosofía.

Así, la primera agenda de una filosofía de la ingeniería emergente está ocupada inicialmente (2007) por tres cuestiones: el problema de los fundamentos para una filosofía de la ingeniería –desde la condición original subsidiaria de la filosofía de la tecnología– entre un campo menos ambicioso y sistematizado etiquetado como ‘filosofía e ingeniería’ y una completa nueva disciplina de la filosofía de la ingeniería; un segundo apartado de cuestiones éticas de la ingeniería; y un tercero de reflexiones que comprenden no solamente el análisis de cómo la filosofía puede contribuir a la ingeniería, sino también de cómo la ingeniería puede influir la filosofía tradicional.

Esa agenda inicial se complementa, en el segundo taller internacional sobre filosofía e ingeniería que se celebra en Londres en 2008, con la temática de la práctica de la ingeniería y la responsabilidad social, y la educación en la ingeniería.

En estos años, dado un cierto crecimiento en el interés académico (docente) por la filosofía de la ingeniería, se enmarca la publicación en 2007 de *Philosophy in Engineering*¹⁹, editado por Christensen *et al.* (2007), planteado como libro de texto para filosofía de la

¹⁸ Li, B. (2002): *An introduction to philosophy of engineering*, Zheng-zhou: Daxiang Press (edición original en chino mandarín).

¹⁹ Christensen, S.H., Meganck, M. & Delahousse, B. (eds.) (2007): *Philosophy in Engineering*, Aarhus: Academica, 430 pp.

ciencia en la ingeniería. El libro se estructura en cuatro secciones: una primera de carácter histórico y formativo sobre la ingeniería; la siguiente dedicada a la filosofía general y epistemología de la práctica y de la ciencia ingenieril; una tercera dedicada a la ética y la ingeniería; y una cuarta sobre los papeles y el estatus de la ingeniería ante el futuro.

A partir de 2009, la *Society for Philosophy and Technology* (SPT) va implicándose más en temas específicos de la ingeniería. En la bienal de ese año se incorporan cuestiones nodulares como la filosofía de la ingeniería y el diseño, así como un apartado bajo la denominación ‘Ingeniería reflexiva’ en donde se pretende que tanto filósofos como ingenieros se enfrentaran a la reflexión acerca de la ingeniería, los ingenieros y la tecnología, así como a la manera en que ambos piensan y conciben la práctica, la investigación y la enseñanza de la ingeniería.

En la bienal de la SPT del 2011, ese apartado de ‘Ingeniería reflexiva’ se dedica a temas como: la epistemología, la metafísica, la ontología y la ética de los productos, procesos y sistemas de la ingeniería; la etnografía de la práctica, la investigación y la enseñanza de la ingeniería y sus implicaciones filosóficas; las aplicaciones de la filosofía a la política y la práctica de la ingeniería; aspectos cognitivos de la ingeniería en relación a cuestiones como la creatividad, la solución de problemas y el liderazgo; así como temas adicionales relacionados con aspectos sociales, históricos y transdisciplinares de la ingeniería.

El otro grupo occidental (junto con el norteamericano), que de manera informal podría denominarse ‘escuela americano-holandesa’ está representado por autores como Ibo Van de Poel, quien es el coeditor de obras como *Philosophy and Engineering. An emerging Agenda* (2010). Esta es una más de un conjunto de obras de conjunto editadas por Springer y en donde se realiza una aproximación, no tanto a una ‘filosofía de la ingeniería’ como a una ‘filosofía e ingeniería’. Tanto por esa denominación como por los contenidos de las obras, no podría hablarse propiamente de un corpus de filosofía de la ingeniería, sino de un conjunto de aportaciones (en un número apreciable sobre ética ingenieril) sobre cuestiones ingenieriles en perspectiva filosófica especializada.

La configuración de la filosofía de la ingeniería es un proceso de tanta actualidad, que Ibo Van de Poel (2010), en su capítulo “Philosophy and Engineering: Setting the Stage”²⁰, como presentación del monográfico *Philosophy and Engineering. An Emerging Agenda*²¹ reconoce que las investigaciones filosóficas en ingeniería todavía son raras y que todavía no existe una filosofía de la ingeniería. Este capítulo y el libro en general, pueden considerarse entre las referencias importantes del estado de la cuestión de la filosofía de la tecnología y de la ingeniería. Este libro está dividido en tres partes. Una primera, donde bajo el epígrafe de “Filosofía” incorpora nueve aportaciones variadas sobre la temática de filosofía e ingeniería. Una segunda parte, con diez trabajos sobre “Ética” que refleja bien, comparativamente hablando, la hipertrofia de las cuestiones éticas en el marco general de la filosofía sobre ingeniería. La tercera parte del volumen, “Reflexión”, incluye ocho contribuciones sobre cuestiones de distinta naturaleza (ontológicas, praxeológicas...).

En el año 2013 se edita por Michelfelder, McCarthy y Goldberg un nuevo volumen de la serie *Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process*²². El objetivo de este volumen, como continuación de la serie *Philosophy and Engineering*, es el de

²⁰ Poel, I.V.d (2010): “Philosophy and Engineering: Setting the Stage”, pp. 1-14, en: Van de Poel & Goldberg (eds.) (2010) *Philosophy and Engineering. An Emerging Agenda*.

²¹ Poel, I.V.d. & Goldberg, D.E. (eds.) (2010): *Philosophy and Engineering. An Emerging Agenda*, Dordrecht: Springer, 361 pp.

²² Michelfelder, D.P., McCarthy, N. & Goldberg, D.E. (eds.) (2013): *Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process*, Dordrecht: Springer. 420 pp.

continuar avanzando en el campo emergente de la filosofía de la ingeniería, para incrementar tanto la cobertura conceptual como contenidos sustantivos. También pretende avanzar en el desarrollo de una ingeniería reflexiva y fortalecer una cultura de reflexión entre quienes practican la ingeniería. Una tercera intención es la de mostrar como la ingeniería reflexiva puede ayudar en el proceso de construcción de una identidad ingenieril. Y finalmente, se encontraría entre los propósitos de este volumen el mostrar cómo la integración entre la ingeniería y la filosofía podría favorecer la innovación tanto curricular como en el diseño ingenieril.²³

Este volumen está dividido en tres partes: I) Reflexiones sobre la práctica (nueve artículos); II) Reflexiones sobre los principios (diez artículos); y III) Reflexiones sobre el proceso (11 artículos). Los artículos específicos más relevantes se citan en los correspondientes subapartados (ontología, epistemología, axiología, metodología y pedagogía); sin embargo pueden relacionarse aquí algunos de carácter filosófico más general como: “Future Reflective Practitioners: The Contributions of Philosophy” (pp. 79-90) de Schiaffonati; “Fitting Engineering into Philosophy” (pp. 91-102) de Pitt; “Engineering as Willing” (pp. 103-114) de Schmidt; “The Engineers’s Identity Crisis: *Homo Faber* or *Homo Sapiens*?” (pp. 139-150) de Dias; y “Is Engineering Philosophically Weak?” (pp. 391-406) de Goldberg.

El recorrido durante el siglo XXI de la naciente filosofía de la ingeniería está propuesto en la gráfica que Jaramillo (2014) incluye en su artículo sobre la filosofía de la ingeniería como una disciplina en construcción²⁴.

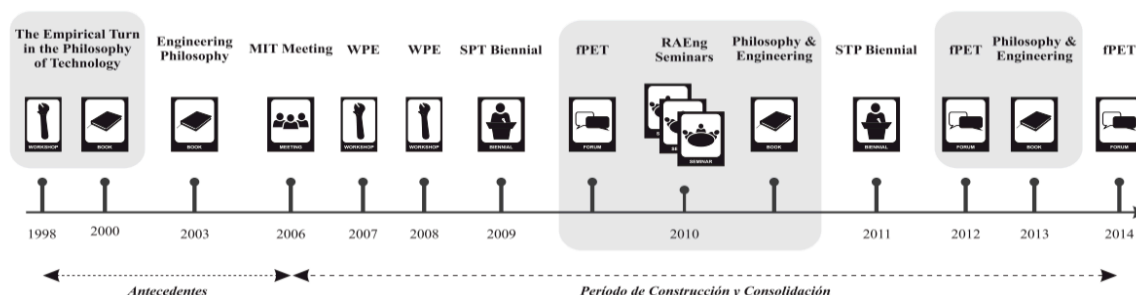


Fig. 1.2.3.a) Línea de tiempo de una filosofía de la ingeniería (Jaramillo, 2014)

Entre las últimas referencias, pueden destacarse las contribuciones reunidas en el volumen colectivo de Franssen, Vermaas, Kroes & Meijers (eds.) *Philosophy of Technology after the Empirical Turn* (2016), como representativo del estado actual de la cuestión, pueden destacarse los siguientes trabajos enfocados específicamente en la ingeniería: “Methodological Classification of Innovative Engineering Projects” de Zwart *et al.*; y “An Engineering Turn in Conceptual Analysis” de Vermaas.

1.2.4 Investigaciones de áreas filosóficas para una filosofía de la ingeniería

El último de los apartados sobre los que se compone un estado de la cuestión sería el de las investigaciones, desde la filosofía de la tecnología, de áreas filosóficas que pueden tener

²³ Cfr. Michelfelder, D.P., McCarthy, N. & Goldberg, D.E. (2013): “Preface” en: Michelfelder *et al.* (eds.) *Op. cit.*

²⁴ Jaramillo, D.F. (2014): “Filosofía de la ingeniería: una disciplina profesional en construcción”, *Revista INGE CUC*, Vol. 10, N° 1, pp. 9-18, junio, 2014.

interés para una elucidación filosófica de la ingeniería. Una vez que en el punto anterior se ha descrito un panorama del estado actual de la filosofía de la ingeniería, puede entenderse que a la hora de establecer el estado actual en el presente apartado ya no cabe ocuparse de toda la filosofía de la tecnología, puesto que este empeño superaría por sí solo los contenidos abordables en un trabajo de esta naturaleza. Se entiende entonces que puede ser de interés incluir referencias de investigaciones que se hayan orientado a la elucidación filosófica de actividades tecnológicas.

De entre los enfoques generales que están disponibles durante finales del siglo XX para abordar reflexiones filosóficas sobre la ingeniería, entiendo que el más importante –sin descartar las positivas influencias del resto– ha sido la vía de la filosofía de la tecnología. En este sentido ya desde finales del siglo podría entenderse que la filosofía de la tecnología está siendo la ‘sede natural’ para el tratamiento de la filosofía de la ingeniería.

A pesar de que durante décadas la filosofía de la tecnología no haya atendido la mayor parte de las necesidades y demandas de la ingeniería, no significa que la filosofía de la tecnología no pueda haber tenido un papel nodular en la progresión de las reflexiones filosóficas sobre la actividad de la ingeniería. Pero, además de esto, la práctica de la filosofía de la técnica o, más precisamente la filosofía de la tecnología, tiene unas influencias, que pueden denominarse como tradiciones. Unas tradiciones que enmarcan, al menos parcialmente, las reflexiones filosóficas tecnológicas que pueden extenderse a la actividad de la ingeniería.

Como se acaba de señalar, voy a plantear la filosofía de la ingeniería en tanto que puede considerarse la ingeniería como una actividad tecnológica, y por tanto que puede ser tratada adecuada y básicamente desde la sede de la filosofía analítica de la tecnología. Podría hablarse entonces de un enfoque principal para la filosofía de la ingeniería desde la filosofía (analítica) de la tecnología ingenieril. En cierta medida esto ya es un progreso en la elucidación conceptual, que vendrá a desarrollarse más adelante.

El encaje de la ingeniería en la tecnología está alineado, como se ha señalado antes (Hilde, 2002)²⁵, con la propuesta del ‘giro empírico’ de la filosofía de la tecnología, donde se pretende abrir la caja negra de la tecnología para mirar dentro observando las prácticas de la tecnología.

En todo caso, en este apartado se abordan, de forma acumulada, los antecedentes y el estado actual de las reflexiones de naturaleza filosófica que tratan sobre la ingeniería o, más expresivamente, de la actividad tecnológica ingenieril. Para ello, se detalla tanto los antecedentes y el estado actual de reflexiones filosóficas sobre la ingeniería como las aportaciones y discurso en torno a tres componentes esenciales del análisis de la filosofía de la tecnología: ontología, epistemología y axiología. Unos componentes que están en relación con los componentes filosóficos más importantes definidos por Quintanilla (2005) en el tratamiento de la tecnología.

Además de estos tres componentes, también reconocidos en el denominado ‘giro empírico’ de la filosofía de la tecnología, se entiende que puede ser conveniente otros componentes como la metodología y la pedagogía que, aún no siendo frecuentes en el análisis de la filosofía de la tecnología, pueden tener especial relevancia en el ámbito filosófico ingenieril, a pesar incluso de que puedan encontrarse en la frontera de la propia actividad filosófica.

²⁵ Hilde, T.C. (2002): “The Empirical Turn in the Philosophy of Technology (review)”, *Technology and Culture*, Volume 43, Number 4, October 2002, pp. 840-841.

Esta revisión del estado actual de las reflexiones filosóficas sobre las actividades tecnológicas ingenieriles está orientada a seleccionar referencias bibliográficas y materiales potencialmente útiles de cara a las fases posteriores de elucidación. La selección de materiales se realiza, fundamentalmente, a partir de: Stanford Encyclopedia of Philosophy (SEP); *A Companion to the Philosophy of Technology* editado por Olsen, Pedersen & Hendricks (2009)²⁶; últimas ediciones de filosofía de la tecnología ingenieril (referencias generales); artículos (revistas analizadas); y monografías de tecnología ingenieril (referencias).

1.2.4.1 Ontología de la tecnología ingenieril

En su *Engineering Philosophy* (2003) Bucciarelli muestra desde el principio una especial preocupación por la naturaleza de los artefactos tecnológicos y las cuestiones ontológicas que vienen a resultar de una importancia en la construcción del mundo ingenieril, en el conocimiento y el diseño como método esencial de intervención ingenieril en el mundo.²⁷

En el escenario ingenieril, desde el primer momento debe destacarse la “heterogeneidad ontológica del mundo en que se trabaja”, como así califica Cuevas (2008: 62) al mundo en que interviene la ingeniería, y que determina, entre otras, una cuestión esencial a la ingeniería como es la exigencia de priorizar la seguridad por encima de la exactitud de los resultados de sus modelos.

Taft H. Broome, en “Metaphysics of Engineering” (2010) expone que la ingeniería se mueve al tiempo en dos escenarios: uno el del mundo real en el que la ingeniería emplea métodos que parecen simular los métodos de las matemáticas y de la ciencia; y el otro, un mundo hiperreal conocido como el mundo asignado en donde la ingeniería no emplea simulaciones. Sin embargo, afirma el autor que la ingeniería que se hace en el mundo real se hace de forma diferente al modo en que se hace matemáticas o ciencias; y que ni las matemáticas ni las ciencias se hacen en un mundo hiperreal cuyas leyes naturales están hechas de imperativos autorizados.²⁸

Últimamente, la ontología puede considerarse también como uno de los campos de prueba para la aproximación entre la filosofía y la ingeniería, como atestigua los dos volúmenes sobre ontología publicados en el año 2010: *Theory and Applications of Ontology. Philosophical Perspectives*²⁹ editado por Poly & Seibt; y *Theory and Applications of Ontology. Computer Applications*³⁰, editado por Poly, Healy y Kameas. Con estos volúmenes los editores quieren poner de manifiesto las conexiones entre la ontología en filosofía y la ontología como tecnología (aplicada en la ingeniería del conocimiento).

Finalmente, entre las contribuciones más actuales en ontología ingenieril, se encuentran en el volumen *Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process* editado por Michelfelder, McCarthy y Goldberg (2013) las siguientes: “Varieties of Parthood: Ontology Learns from Engineering” (pp. 151-164) de Simons; “Engineered Artifacts” (pp. 165-176) de Newberry; y “Object-Oriented Method and the Relationship Between Structure and Function of Technical Artifacts” (pp. 329-342) de Enrong.

²⁶ Olsen, J.K.B.; Pedersen, S.A. & Hendricks, V.F. (2009): *A Companion to the Philosophy of Technology*, Blackwell Publishing Ltd.

²⁷ Cfr. Bucciarelli, L.L. (2003): *Op. cit.*, p. 99.

²⁸ Cfr. Broome, T.H. (2010): “Metaphysics of Engineering”, pp. 295-304, en: Poel & Goldberg (eds.) *Philosophy and Engineering*.

²⁹ Poly, R. & Seibt, J. (eds.) (2010): *Theory and Applications of Ontology. Philosophical Perspectives*. Dordrecht: Springer.

³⁰ Poly, R.; Healy, M. & Kameas, A. (eds.) (2010): *Theory and Applications of Ontology. Computer Applications*. Dordrecht: Springer.

1.2.4.2 Epistemología ingenieril

El trabajo de W.G. Vincenti (1990) *What engineers know and how they know it. Analytical Studies from Aeronautical History*³¹, sigue siendo una de las referencias más valiosas en lo que sería una epistemología de la ingeniería. Hasta tal punto que para autores como Vega Encabo (2010) “desde la perspectiva de la ingeniería (actividad claramente generadora de conocimiento técnico) ha sido el de Vincenti (1990) el único intento serio hasta el momento de ofrecer una *epistemología de la ingeniería* (Vincenti, 1990)”³².

De entre las numerosas aportaciones de la obra de Vincenti a un discurso sobre la epistemología ingenieril, en lo que denomina ‘cómo conocen los ingenieros’, pueden destacarse: una clasificación del conocimiento ingenieril; la identificación de seis categorías del conocimiento ingenieril; y siete actividades generadoras de conocimiento (lo que está entre lo metodológico y lo axiológico).

Vincenti (1990: 195-198), al efecto de sus investigaciones de caso, re-clasifica los tipos de conocimiento ingenieril; un conocimiento que normalmente se ha categorizado por fases: el diseño, la producción o las operaciones. No obstante, otra forma de pensar sobre categorías de conocimiento de ingeniería establece: conocimiento descriptivo, conocimiento prescriptivo y conocimiento tácito. Una clasificación que puede correlacionarse con otra habitual (saber qué, saber cómo) en el dominio tecnológico, de modo que "saber qué o qué hacer" en ingeniería es una mezcla de conocimiento descriptivo y prescriptivo, o "saber cómo" hacerlo es una mezcla de conocimiento prescriptivo y tácito.

El autor identifica para su trabajo hasta seis elementos distintos del conocimiento ingenieril: 1) conceptos de diseño fundamentales; 2) criterios y especificaciones; 3) herramientas teóricas; 4) datos cuantitativos; 5) consideraciones prácticas; y 6) instrumentalidad del diseño. (Vincenti, 1990: 208).

Finalmente, en el dominio epistemológico ingenieril, puede destacarse la contribución de Vincenti (1990: 229) por la que identifica siete actividades (ingenieriles) generadoras de conocimiento: 1) transferencia desde la ciencia; 2) invención; 3) investigación de ingeniería teórica; 4) investigación de ingeniería experimental; 5) práctica de diseño; 6) producción; y 7) prueba directa.

Junto a Vincenti, Louis L. Bucciarelli se cuenta también entre los ingenieros que han realizado un esfuerzo teórico de naturaleza filosófica en el campo de la epistemología ingenieril. Una de las partes más desarrolladas de este trabajo se encuentra elaborada en el capítulo 4 “Knowing that and how” de su reconocido *Engineering Philosophy* (2003). El autor parte de las dificultades existentes a la hora de explorar lo que es el conocimiento ingenieril desde la perspectiva filosófica, entre las que inmediatamente señala dos: en primer lugar que, al contrario que en la ciencia, el conocimiento ingenieril no es primordialmente textual, sino que “dibujos y bocetos, partes y piezas de hardware, prototipos y muestras de proveedores también llevan al conocimiento; son parte del lenguaje de la práctica de la ingeniería” (Bucciarelli, 2003: 44), de modo que entran en el conocimiento y diseño ingenieril. En segundo lugar, que el tipo de cosas que entran en el debate ingenieril son más variadas que en la ciencia. Además de variables ‘muy respetadas’ científicamente como fuerza, desplazamiento, tiempo o temperatura, entran otras cosas ‘menos domesticadas’ como

³¹ Vincenti, W.G. (1990): *What engineers know and how they know it. Analytical Studies from Aeronautical History*, Baltimore-London: The John Hopkins University Press.

³² Vega, J. (2010): *Los saberes de Odiseo. Una filosofía de la técnica*, p. 55 (nota de pie de página).

costes, márgenes de seguridad, códigos y regulaciones legales, deseos del cliente, estética, formas de fabricación o procedimientos de mantenimiento³³.

En esta obra, Bucciarelli (2003: 48-71) ofrece una serie de detallados ejemplos, en donde muestra la diferencia y complejidad del conocimiento ingenieril respecto del conocimiento científico, a través del estudio de casos de: ingeniería estructural, resistencia de materiales y coeficientes aeronáuticos.

Un análisis de naturaleza más filosófica puede encontrarse en autores como De Vries, M.J. (2003): “The Nature of Technological Knowledge: Extended Empirically Informed Studies into what Engineers know”³⁴.

En la publicación de tipo académico (docente) de *Philosophy in Engineering*³⁵ editado por Christensen *et al.* (2007), se incluye una sección sobre filosofía general y epistemología de la práctica y de la ciencia ingenieril. Pueden destacarse las contribuciones: “The Knowledge of Engineers” (pp. 103-122) de Christensen y Erno-Kjølhed; “Engineering Science as opposed to Applied Science and Natural Science” (pp. 139-160) de Coyle, Murphy & Grimson; y “Knowledge and Learning in Engineering Practice” (pp. 161-178) de Buch.

La obra de Meijers (ed.) *Philosophy of Technology and Engineering Science* (2009) dedica una de sus seis partes a la ontología y epistemología de los artefactos, de suerte que en esta parte las contribuciones más interesantes del campo epistemológico ingenieril serían: “Tactic knowledge and engineering design” de Nightingale, y “Practical reasoning and engineering” de Hughes.

Las investigaciones sobre epistemología ingenieril, siguiendo con la orientación del giro empírico, están incluyendo trabajos sobre el uso real, en la práctica ingenieril, de diversos tipos de conocimiento ingenieril. En este sentido sirva como el ejemplo el artículo “A ‘knowledge profile’ of an engineering occupation: temporal patterns in the use of engineering knowledge”³⁶ de Gainsburg *et al.* (2010).

Un trabajo en donde los autores realizan una investigación sobre los tipos reales de conocimiento empleado en la práctica por en la ingeniería estructural, a partir del estudio directo del comportamiento de unas decenas de profesionales, y teniendo en cuenta además de los tipos de conocimientos de Vincenti (1990), otros complementarios, más propios de la actividad de gestión. En conjunto, los tipos de conocimiento de la ingeniería estructural empleados para definir el perfil de la ocupación ingenieril, son (ordenados por frecuencia de uso, de mayor a menor): instrumental de diseño (97%), elementos estructurales apropiados (75%), agentes en ingeniería (68%), conceptos fundamentales de diseño (59%), organización del trabajo (44%), herramientas teóricas (38%), viabilidad y facilidad en la construcción (26%), reglas generales y estimaciones (21%), datos cuantitativos (16%), y criterios de sistemas estructurales (8%). (Gainsburg *et al.*, 2010: 211).

Finalmente, en el volumen *Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process* editado por Michelfelder, McCarthy y Goldberg (2013) aparecen representadas algunas de las más recientes reflexiones en epistemología ingenieril como: “The Ignorance of Engineers and How They Know It” (pp. 3-14) de Poser; o “On the Epistemology of Breakthrough Innovation: The Orthogonal and Non-linear Natures of Discovery” (pp. 305-316) de Vojak y Price.

³³ Cfr. Bucciarelli, L.L. (2003): *Engineering Philosophy*, p. 44.

³⁴ De Vries, M.J. (2003): “The Nature of Technological Knowledge: Extended Empirically Informed Studies into what Engineers know”, *Techné*, vol. 6, Spring 2003, 10 pp.

³⁵ Christensen, S.H., Meganck, M. & Delahousse, B. (eds.) (2007): *Philosophy in Engineering*, Aarhus: Academica, 430 pp.

³⁶ Gainsburg, J., Rodriguez, C. & Bailey, D.E. (2010): “A ‘knowledge profile’ of an engineering occupation: temporal patterns in the use of engineering knowledge”, *Engineering Studies*, Vol. 2, No. 3, December 2010, 197–219.

1.2.4.3 Ética y axiología ingenieril

El estado de la cuestión en torno a la axiología de la ingeniería y de la tecnología ingenieril a principios del siglo XXI reúne los retos –aún lejos de estar resueltos– heredados del siglo XX, como son la seguridad, la salud y el bienestar (Mitcham, 1988: 59), a los que se suman nuevos modelos condicionantes, como el desarrollo sostenible, o problemáticas de escala global, como el cambio climático.

La axiología ingenieril, y en concreto la ética ingenieril, tiene una producción relativamente constante, puesto que es uno de las cuestiones esenciales que aparecen en la reducida agenda de la filosofía sobre la ingeniería. Hasta tal punto que es frecuente el que se establezca, especialmente en el ámbito académico (función docente) una suerte de correspondencia biunívoca, de modo que la ética ingenieril representaría prácticamente la totalidad del campo de la filosofía ingenieril.

Durante el siglo XX, la mayor parte de la escasa actividad filosófica ingenieril se ha centrado en la ética ingenieril. Si se entra en cuestiones específicas de carácter filosófico, especialmente en lo relativo a aspectos éticos (axiológicos), pueden destacarse un número apreciable de trabajos preocupados por la ética ingenieril: desde que Layton (1971) expone lo que considera la ‘revuelta’ de los ingenieros, hasta la imbricación de la ingeniería con cuestiones progresivamente más candentes en la agenda social, económica y ambiental del siglo XX, como la energía nuclear, el agotamiento de los recursos naturales, la contaminación, la crisis energética o la degradación de calidad de vida. Todo ello apela a la necesidad de establecer un puente entre las preocupaciones de la sociedad y las preocupaciones profesionales (internas y externas) de la ingeniería, que vienen a configurar la ética ingenieril. Un área filosófica que durante años se convierte –prácticamente– en el área filosófica por excelencia de la ingeniería.

La ética ingenieril surge de forma reactiva frente a las tensiones de cambio en el dominio sobre los ingenieros de la administración y las corporaciones y respuesta colectiva, a partir de los años sesenta³⁷. En 1974 se reformulan el código ético ingenieril transdisciplinar de los ingenieros norteamericanos (Consejo de Ingenieros para el Desarrollo Profesional), señalando como primer punto que: “los ingenieros deben considerar como primario la seguridad, la salud y el bienestar del público...” (Mitcham, 1988: 59); otro punto “notificar a las autoridades correspondientes de cualquier situación anómala detectada que haga peligrar la seguridad pública y la salud” (Mitcham, 1988: 60). A partir de este punto y varios casos (no ambientales), propuesta de Unger de respaldar la práctica ética de la ingeniería especialmente “dando la voz de alerta” (*blowing the whistle*) (Mitcham, 1988: 61).

Los cambios en el papel de los ingenieros se ponen de manifiesto en artículos como el de Flores (1980) sobre los derechos profesionales de los ingenieros³⁸. Poco más tarde, también a principios de los años ochenta se publica *Ethics in Engineering*³⁹, un texto orientado a la filosofía analítica y escrito por un filósofo (Martin) y un ingeniero (Schinzinger), como resultado de una investigación auspiciada por EVIST (programa para fondos de investigación en Ética y Valores en la Ciencia y la Tecnología) de la Fundación Nacional de Ciencia (*National Science Foundation*).

En esa misma década, Elena Lugo, de la Universidad de Puerto Rico publica su *Ética Profesional para la ingeniería* (1985). Desde esa misma plataforma académica de la

³⁷ Véase Mitcham (1988: 59) *Op. cit.*

³⁸ Flores A. (1980): “The Professional Rights of Engineers”, *Technology and Society*, vol. 8, 4, December 1980, pp.

³⁹ Martin, Mike W., and Roland Schinzinger (1983): *Ethics in Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1983. pp. xiv, 335

Universidad de Puerto Rico –con la que Mitcham mantiene una intensa relación– se impulsará el debate sobre la ética ingenieril norteamericana, con artículos como el de *Ética ingenieril norteamericana* (1988) en donde el autor presenta⁴⁰ una panorámica histórica del fenómeno y su alcance a finales de la década de los ochenta.

Las reflexiones decanas sobre ética ingenieril van adquiriendo mayor complejidad, según se hacen más complejos los problemas a que se refiere. El análisis teórico y práctico de los problemas ingenieriles ha ido conduciendo a una suerte de visión doble: micro-ética, y macro-ética. La primera está orientada a la ética del individuo, en su relación con la actividad, lo que vendría a coincidir con la primera de las definiciones de ética ingenieril por parte de Martin & Schinzinger (1996): “el estudio de las cuestiones morales y decisiones que enfrentan los individuos y las organizaciones involucrados en la ingeniería”, mientras que la visión macro-ética se ajusta más a la segunda definición de estos autores: “el estudio de cuestiones relacionadas sobre conducta moral, carácter, políticas y relaciones de las personas y las empresas involucradas en la actividad tecnológica”⁴¹.

En este escenario, la complicación de los retos ingenieriles trae de la mano un incremento en la complejidad del análisis ético, como puede comprobarse en el trabajo de Lynch & Kline (2000) sobre las relaciones entre la práctica ingenieril y la ética ingenieril⁴². En este artículo se parte de la problemática en el análisis de la causas del accidente del transbordador espacial *Challenger*, para abordar la ética ingenieril en acción, confrontada a la práctica ingenieril. Los autores sugieren que es importante incorporar la enseñanza de la ética en la ingeniería para sensibilizar a los futuros profesionales de los riesgos durante la práctica ingenieril, de modo que puedan estar mejor preparados para abordar las cuestiones de salud pública, seguridad y bienestar, antes de que se hagan precisas intervenciones heroicas.

Lynch & Kline (2000) insisten en la necesidad de que se comprendan la importancia de la experiencias precedentes, de los cambios incrementales y de la falibilidad del diseño ingenieril para anticipar amenazas a la seguridad derivados de una rutina en la cultura del lugar de trabajo. Señalan, en la línea de adaptarse a una mayor complejidad, la conveniencia de investigar los aspectos socio-técnicos de la práctica de la ingeniería, de modo que se reconozcan de forma temprana los problemas éticos en los entornos del mundo real.⁴³

La ética ingenieril está sometida a unos intensos procesos de cambio, de actualización. Una actualización que se va produciendo mediante la agregación de cuestiones a la agenda de la ética ingenieril. En una perspectiva histórica, la ética ingenieril estaría constituida por una serie de estratos o fases que, incrementalmente, han ido conformando el modelo no sólo de ética ingenieril, sino también el modelo de enseñanza de la ingeniería (como en el caso del sistema educativo norteamericano) en donde se plantean estas cuestiones. Estas fases secuenciales que se agregan hasta llegar a la situación actual habrían sido, según Mitcham (2009), las de ética implícita, la ética como lealtad, la ética de la eficiencia, a las que se incluye desde finales de la II Guerra Mundial, la fase de seguridad pública, salud y bienestar⁴⁴. En la actualidad, las tensiones llevan a considerar una nueva fase o un giro en la orientación de la ética de modo que la ética profesional micro se amplíe hacia la ética macro, en lo que sería una suerte de giro político, de modo que las preocupaciones por la ética

⁴⁰ Mitcham, Carl (1988): “Ética ingenieril norteamericana”, *Rev. Filosofía Univ. Costa Rica* XXVI (63, 64), 57-63, 1988.

⁴¹ Martin, M.W. & Schinzinger, R. (1996): *Ethics in engineering*. 3d ed. New York: McGraw-Hill.

⁴² Lynch, W.T. & Kline, R. (2000): “Engineering Practice and Engineering Ethics”, *Science, Technology, & Human Values*, Vol. 25, No. 2 (Spring, 2000), pp. 195-225.

⁴³ Cfr. Lynch, W.T. & Kline, R. (2000): *Op. cit.*, p. 195.

⁴⁴ Cfr. Mitcham, C. (2009): “A historico-ethical perspective on engineering education: from use and convenience to policy engagement”, *Engineering Studies*, 1:1, 35-53, DOI: 10.1080/19378620902725166

ingenieril consideren adecuadamente también las políticas institucionales –como se ha aprendido en las investigaciones del accidente del Challenger– que son el marco que determina o al menos condiciona las opciones éticas ingenieriles.

Aunque, al contrario que en materia de ética ingenieril, no son frecuentes los trabajos amplios sobre axiología ingenieril, pueden encontrarse aportaciones importantes como las de Ana Cuevas (2008) con “Una axiología para las ciencias tecnológicas”⁴⁵, en donde se establece tanto las bases o estado actual de la cuestión como unas valiosas orientaciones metodológicas para una axiología ingenieril. En este artículo, Cuevas resume que: “se estudian los principales análisis contemporáneos que versan sobre los valores en la ciencia actual. Se hará haciendo especial hincapié en aquellos estudios que intentan superar propuestas esencialistas y apuestan por reconsiderar el papel de las comunidades científicas. También se estudian las aportaciones realizadas sobre los valores en la tecnología, destacando el papel de los valores característicos de los ingenieros y cómo influyen en la realización de su trabajo. Se considera un área nueva, la de las ciencias tecnológicas que pueden compartir valores de las dos esferas anteriores. Los científicos emplean cálculos de coste-beneficios a la hora de decantarse por la mejor propuesta posible; los científicos-tecnólogos incluyen valores derivados de la aplicabilidad de sus conocimientos en la realización de artefactos que han de ser seguros.”⁴⁶

En su trabajo, Cuevas expone los que serían –pensando en una propuesta de axiología ingenieril– los valores deseables para los modelos de las ciencias tecnológicas. Así, considera los requisitos que deben satisfacer los modelos para representar ciertos aspectos de la realidad en el modo que los ingenieros consideren relevantes para sus propósitos. De esta forma, los modelos ingenieriles deben tener como valores: 1) consistencia interna, para no llegar a conclusiones contradictorias, como exigencia de racionalidad científica; 2) adecuación empírica, aunque con flexibilidad suficiente como para renunciar a dar resultados exactos a favor de cálculos que provean a los ingenieros de un espectro de resultados seguros; 3) fertilidad, en tanto que a partir de un conjunto relativamente pequeño de conceptos y principios teóricos los tecnólogos han de proporcionar conocimientos suficientes para la realización de los más diversos artefactos; 4) capacidad para evitar la aparición de resultados inesperados desfavorables, reforzando la valoración positiva de los futuros usuarios de esos modelos; 5) novedad, en tanto en que sean capaces de describir y explicar fenómenos que no habían sido objeto de investigación científica con anterioridad; 6) adecuación a la heterogeneidad ontológica, al tratar con diferentes clases de entidades donde no pretenda reducirlas ni idealizar sus características para que encajen en una categoría general, sino que propone caracterizaciones para el comportamiento de conjuntos de fenómenos mucho más reducidos; 7) aplicabilidad a las necesidades humanas presentes.⁴⁷

Siguiendo con una secuencia cronológica de aportaciones a la ética ingenieril, pueden señalarse las reunidas en la publicación de tipo académico (docente) de *Philosophy in Engineering*⁴⁸ editado por Christensen *et al* (2007), en donde se dedica una de las cuatro secciones a la ética en la ingeniería. En este volumen pueden destacarse las contribuciones: “Introduction to Ethics and Engineering” (pp. 221-224) de Meganck; “Tools for Ethical Reflection” (pp. 225-244) de Meganck; “Ethics in Engineering Practice” (pp. 245-262) de van de Poel; “Questioning Whistle-blowing as a Response to the Engineer’s Dilemma of Loyalty”

⁴⁵ Cuevas, Ana (2008): “Una axiología para las ciencias tecnológicas”, *ArtefaCToS*, Vol. 1, n. 1, 49-70, nov. 2008.

⁴⁶ Cuevas, A. (2008): *Op. cit.* p. 49.

⁴⁷ Cfr. Cuevas, A. (2008): “Una axiología para las ciencias tecnológicas”, *ArtefaCToS*, vol. 1, nº 1, nov. 2008, pp. 62-63.

⁴⁸ Christensen, S.H., Meganck, M. & Delahousse, B. (eds.) (2007): *Philosophy in Engineering*, Aarhus: Academica, 430 pp.

(pp. 263-276) de Didier; y “Community Ethics and Challenges to Intellectual Property” (pp. 291-310) de Kikkas.

En *A Companion to the Philosophy of Technology* (2009) aparecen, entre otras, las aportaciones de Christelle Didier en ‘Engineering Ethics’ (2009: 426-431), donde puede destacarse la importante vinculación que establece entre la actividad de la ingeniería con la economía, de lo que se deriva cómo esta última condiciona e incrementa la complejidad e interacciones de la ingeniería. También resulta sugerente el subrayado que hace la autora sobre la noción de riesgo: “la ingeniería genera todo tipo de riesgos: sociales, sanitarios, políticos, ambientales, económicos” (Didier, 2009: 428).

La obra de Meijers (ed.) *Philosophy of Technology and Engineering Science* (2009) dedica una de sus seis partes a normas y valores en tecnología e ingeniería, de modo que en esta parte podrían destacarse, como aportaciones más orientadas a la ingeniería: “Professional standard in engineering practice” de Pritchard, y “Values in engineering design” de Poel.

Entre las últimas aportaciones compilatorias de trabajos sobre ética ingenieril se encuentran la mayor parte de los trabajos agrupados como parte II (Ética) de la obra de Van de Poel & Goldberg (eds.) (2010) *Philosophy and Engineering*.⁴⁹ De entre estos pueden destacarse: “Integrity and the Ethical Responsibilities of Engineers” de Alastair S. Gunn; “Ethical Principles for Engineers in a Global Environment” de Heinz C. Luegenbiehl; “Professional Ethics Without a Profession: A French view on Engineering Ethics” de Christelle Didier; “Transferring responsibility through use plans” de Auke Pols; y “Teaching ethics to engineering students: from clean concepts to dirty tricks” de Otto Kroesen y Sybrand van der Zwaag.

En esta producción constante sobre la ética profesional en la ingeniería durante la última década pueden sumarse las contribuciones editoriales de McCuen & Gilroy (2011) con su *Ethics and Professionalism in Engineering*⁵⁰.

En el volumen *Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process* editado por Michelfelder, McCarthy y Goldberg (2013) pueden encontrarse algunas de las más recientes contribuciones en ética ingenieril como es el caso de: “Rules of Skill: Ethics in Engineering” (pp. 15-27) de Robison; “Engineering Ethics: From Preventive Ethics to Aspirational Ethics” (pp. 177-188) de Harris; o “Ethical Awareness in Chinese Professional Engineering Societies” (pp. 203-214) de Nanyan, Junbin y Mingyan.

Finalmente, en el volumen colectivo de Franssen, Vermaas, Kroes & Meijers (eds.) *Philosophy of Technology after the Empirical Turn*, puede destacarse el trabajo en que Newberry (2016) presenta un análisis axiológico multinivel para la ingeniería en “For the Benefit of Humanity: Values in Micro, Meso, Macro, and Meta Levels in Engineering”⁵¹.

1.2.4.4 Metodología ingenieril

Dentro de lo que serían algunos de los campos filosóficos de especial interés para la tecnología ingenieril o las ingenierías se encuentra, y así aparece una y otra vez en distintos textos de filosofía e ingeniería, las cuestiones metodológicas y, en menor medida, cuestiones específicamente praxeológicas. No es el objetivo, en esta primera parte de estudio de antecedentes y de situación actual, el clarificar los dominios ingenieriles correspondientes a la metodología y a la praxeología. Máxime cuando hay un debate abierto (Marcos, 2010) sobre

⁴⁹ Poel, I. van de & Goldberg, D.E. (eds.) (2010): *Philosophy and Engineering. An Emerging Agenda*.

⁵⁰ McCuen, R.H. & Gilroy, K.L. (eds.) (2011): *Ethics and Professionalism in engineering*, New Jersey: Broadview Press.

⁵¹ Newberry, B. (2016): “For the Benefit of Humanity: Values in Micro, Meso, Macro, and Meta Levels in Engineering”, pp. 249-267, en: Franssen, Vermaas, Kroes & Meijers (eds.) *Philosophy of Technology after the Empirical Turn*.

si la metodología puede verse como un componente filosófico de la ingeniería o debería ser entendido como un paraguas temático (ontología, epistemología...). En este sentido, en este apartado me limito a recoger una serie de aportaciones del campo de la ingeniería que pueden tener un interés potencial para la revisión y atribución, en su caso, en los dominios tanto metodológico como praxeológico.

De acuerdo con Aracil (1999: 39), el propósito del ingeniero es resolver tal o cual problema concreto, de modo que su propósito es resolver el problema mediante algún artefacto que sirva para esto. De esta manera “su objetivo es aquello que aquello que se concibe y realiza sirva a los propósitos que lo han originado. (...) En el caso concreto que tiene entre manos no puede prescindir de nada, no puede aislarse en un laboratorio y ocuparse exclusivamente de aquellos aspectos generales que son interesantes para el científico. Antes bien, ha de concentrarse en el problema específico que tiene que resolver y, al hacerlo, tiene que tener en cuenta todos los aspectos de la escurridiza e inasible realidad. Y, además, tiene que asumir riesgos.”⁵²

Las contribuciones del ingeniero Aracil continúan afirmando que “para el acto de creación, que estamos defendiendo que está en las mismas raíces de la metodología de la ingeniería, es absolutamente relevante el pluralismo. Como sucede en el arte, para que sea posible crear hay que disponer de holguras. Precisamente entre las holguras de lo predeterminado se abre camino lo posible. Se comprende que la mera concepción de la ingeniería como mera aplicación de lo que ya previamente se sabía –que es lo que es la ciencia aplicada– pretende sustraerle lo que es su característica esencial de concepción y de diseño”.⁵³

La metodología ingenieril puede entenderse bien aplicada al ciclo completo de la actividad ingenieril (docencia, investigación, aplicación profesional...) o señaladamente al campo de la investigación. En este último caso, se ha hablado de métodos y procedimientos de investigación, como señala Cuevas: “las investigaciones se pueden originar de dos maneras diferentes: a partir de problemas surgidos durante la fase de diseño, o a partir de las propias investigaciones llevadas a cabo en el seno de una teoría ya en marcha. Una vez que se ha determinado el problema que se pretende resolver, se seleccionan aquellos aspectos de la realidad relevantes y se identifican las propiedades sobre las que va a tratar la teoría, para lo que se recurre, como en el resto de las ciencias, a ciertas abstracciones y simplificaciones sobre las propiedades del objeto de estudio. Mediante este procedimiento se acotarán los fenómenos sobre los que trabaja la teoría. Estas simplificaciones y abstracciones realizadas por las ciencias ingenieriles pueden resultar, desde el punto de vista de otras ciencias, inaceptables. Ello se debe a que el objetivo general de las ciencias ingenieriles (la obtención de conocimientos útiles) puede obligarles a no tener en cuenta la corrección de esos conocimientos desde la perspectiva de ciencias cuyo conocimiento se encuentra supuestamente mejor fundamentado. Esos conocimientos más correctos pueden elevar la complejidad del fenómeno de tal manera que no se pueda obtener a partir de ellos una respuesta útil. De esta forma, el objetivo práctico de las ciencias ingenieriles determina la estructura de las teorías particulares.”⁵⁴

Siguiendo con una secuencia cronológica de aportaciones a la metodología ingenieril, pueden señalarse las reunidas en la publicación de tipo académico (docente) de *Philosophy in*

⁵² Aracil, J. (1999) ¿Es menester que los ingenieros filosofen?, *Argumentos de Razón Técnica*, p. 40

⁵³ Aracil, J. (1999) ¿Es menester que los ingenieros filosofen?, *Argumentos de Razón Técnica*, nº 2, pp. 40

⁵⁴ Cuevas, A. (2003): “Las ciencias ingenieriles como ‘ciencias para la aplicación’ “, *Argum. Razón Téc.*, p. 176.

*Engineering*⁵⁵ editado por Christensen *et al.* (2007), en donde puede destacarse: “Methodology of Engineering Science as a Combination of Epistemic, Ethical and Aesthetic Aspects” (pp. 123-138) de Mutanen.

En Coyle *et al.* (2007)⁵⁶ se ponen a tratar dos cuestiones metodológicas que creo que tienen especial interés en la ingeniería. En primer lugar, se expone un sencillo modelo de la ingeniería que es en cierto modo un modelo simplificado de la metodología ingenieril.

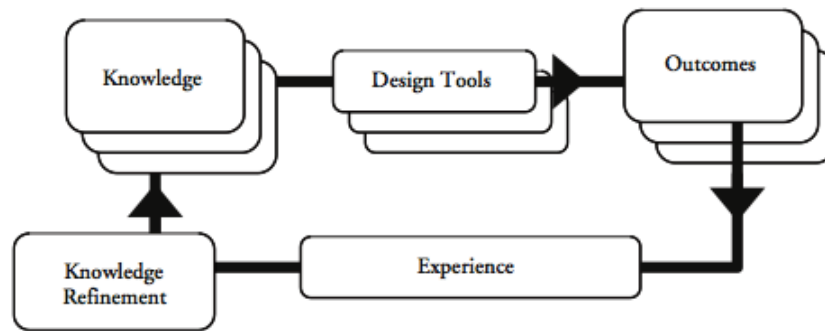


Fig. 1.2.4.a) Un modelo de ingeniería (en Coyle *et al.*, 2007: 144)

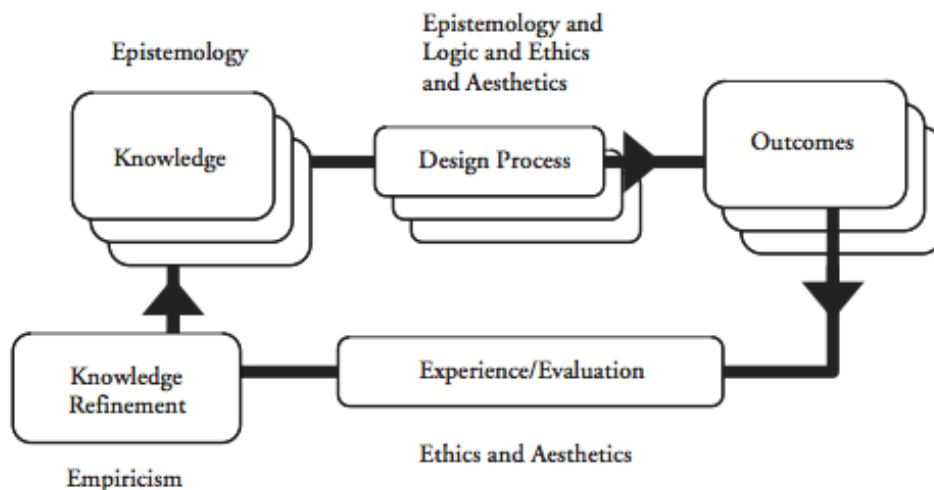


Fig. 1.2.4.b) Un modelo de ingeniería: relaciones con la filosofía (en Coyle *et al.*, 2007: 158)

El interés especial de la segunda figura es que sobre el modelo simplificado (de metodología) ingenieril propuesto por Coyle *et al.* (2007) se hace una relectura en términos de qué partes de la filosofía son las más adecuadas para considerar esas fases de la metodología. Al margen de si el modelo ingenieril presentado puede considerarse como metodológicamente completo, lo más interesante está en esa correlación gráfica entre distintas fases del método ingenieril con diferentes partes de la filosofía de la tecnología. Algo que muestra unas potencialidades de

⁵⁵ Christensen, S.H., Meganck, M. & Delahousse, B. (eds.) (2007): *Philosophy in Engineering*, Aarhus: Academica, 430 pp.

⁵⁶ Coyle, E., Murphy, M. & Grimson, W. (2007): “Engineering Science as Opposed to Natural Science and Applied Science” pp. 139-160, in Christensen *et al.* (eds.) *Philosophy in Engineering*.

representación y análisis del ciclo de la ingeniería en correlación con las herramientas filosóficas de análisis más pertinentes para cada caso.

Siguiendo con el término de herramientas, que es una terminología muy tecnológica e ingenieril, quiero destacar otra contribución notable del trabajo de Coyle *et al.* (2007: 149), como es la mención al conjunto de herramientas heurísticas de la ‘caja de herramientas’ ingenieril. Una caja en la que incluyen conceptos esenciales de la metodología en la práctica ingenieril: criterio ingenieril; análisis de fallos; evaluación de riesgos; evaluación de impactos; prueba y error; estándares y códigos y factor de seguridad; reglas del juego y órdenes de magnitud.

Finalmente, en el volumen *Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process* editado por Michelfelder, McCarthy y Goldberg (2013) puede encontrarse contribuciones en el campo de la metodología ingenieril como: “Engineering as Performance: An ‘Experiential Gestalt’ for Understanding Engineering” (pp. 27-38) de Evans; “Debunking Contemporary Myths Concerning Engineering” (pp. 115-138) de Koen; o “Engineering Innovation: Energy, Policy and the Role of Engineering” (pp. 377-390) de Pirtle.

1.2.4.5 Pedagogía ingenieril

La ingeniería, especialmente en el ámbito cultural anglosajón, ha mostrado desde los años sesenta del siglo XX, una especial preocupación por los aspectos pedagógicos de la propia ingeniería. Una preocupación en la que subyace, de forma al menos implícita, el convencimiento de que la pedagogía ingenieril es una pieza esencial de la actividad ingenieril, de modo que la transmisión de conocimiento no sería sólo una fase de preparación profesional, sino un estadio propio de la actividad ingenieril. Esto puede justificar los numerosos trabajos publicados (tanto de pedagogía como incluso de filosofía de la pedagogía), al entender la pedagogía como análisis riguroso del proceso de transmisión de los conocimientos, en particular de los conocimientos (teóricos y prácticos) ingenieriles.

Pongo como ejemplo, de otros muchos que valdrían, los trabajos de Miser (1978) cuando en el marco de las nuevas exigencias que pueden plantearle a la ingeniería las nociones entonces emergentes de sistemas combinados (sistemas sociotécnicos) responde definiendo las necesidades correlativas que habría de transformar la educación ingenieril.⁵⁷

En *The Sciences of the Artificial*, Simon ya exponía en detalle el proceso que se desarrolla a partir de la segunda mitad del siglo XX por el que las ciencias naturales casi expulsan a las ciencias de lo artificial de los currículos de las escuelas profesionales: “Las escuelas de ingeniería se convirtieron gradualmente en escuelas de física y matemáticas; las escuelas de medicina se convirtieron en escuelas de ciencia biológica; las escuelas de negocios se convirtieron en escuelas de matemáticas finitas. El uso de adjetivos como ‘aplicado’ ocultaba, pero no cambiaba, el hecho. (...) Esto no significaba que el diseño siguiera enseñándose, al contrario que el análisis [ciencia]. (...) Las universidades más importantes fueron las más afectadas por este fenómeno.” (Simon, 1996: 111-112).

De acuerdo con Simon, las razones para esta ‘cientificación’ de la formación ingenieril (y la de otras profesiones como la administración de empresas, o la medicina) tiene una causa básica: las escuelas profesionales, entre las que se encontrarían las escuelas de ingeniería han sido absorbidas cada vez más por la cultura general de la respetabilidad universitaria. Una respetabilidad académica que busca temas de pensamiento intelectual, analítico, formalizable,

⁵⁷ Cfr. Miser, H.J. (1978): “Sociotechnical Systems: The New Engineering Frontier. A Sketch for an Engineering School Plan”, *European Journal of Eng. Ed.*, 3, 263-276.

y que pueda enseñarse. Como expresa Simon (1996: 112): “¿Por qué alguien en una universidad se rebajaría a enseñar o aprender sobre el diseño de máquinas o a planificar estrategias de mercado cuando podría preocuparse por la física del estado sólido? La respuesta ha sido clara: por lo general no lo haría.” Simon valora el daño que se ha causado a la competencia profesional derivado de la progresiva ausencia del diseño en el curriculum profesional en ingeniería y en medicina, y en menor medida en empresariales. Sin embargo, afirma que aún hay muchas escuelas que no piensan en esto como en un problema puesto que piensan que ser una escuela de ciencia aplicada es una alternativa mejor que la de las viejas escuelas del pasado.

Estos problemas que expone Simon son de naturaleza claramente pedagógica, e incluso podría decirse que se trata de genuinos problemas de filosofía pedagógica. La preocupación de este autor, enmarcada en una problemática de gran magnitud de orden epistemológico, pone de manifiesto cómo a finales del siglo XX sigue presente, como una constante, esa preocupación pedagógica ingenieril.

Una preocupación que también tiene un claro reflejo en la obra referencial *Engineering Philosophy* de Bucciarelli (2003), quien dedica el capítulo 5 “Learning Engineering”, que comienza recordando cómo en la última década ha surgido una significativa actividad para la renovación de la educación ingenieril. El autor repasa la situación que da origen a lo que algunos han identificado como manifestaciones de una crisis de la ingeniería, y realiza una revisión crítica de las propuestas de cambio que se están realizando, así como un conjunto de reflexiones nodulares para un cambio de enfoque basado en tres elementos: las enseñanzas históricas, el uso de los conceptos equivocados de los estudiantes, y el uso de ejercicios de ‘final abierto’.⁵⁸

Para continuar con una secuencia cronológica de aportaciones a la pedagogía ingenieril, pueden señalarse las reunidas en la publicación de tipo académico (docente) de *Philosophy in Engineering*⁵⁹ editado por Christensen *et al.* (2007), en donde puede destacarse: “Craft and Art in Engineering. Philotechné as an Ideal of ‘Bildung’ in Engineering Education” (pp. 65-84) de Volanen; “Engineering – An Inherently Philosophical Enterprise” (pp. 89-102) de Grimson; y “Globalization and its Impacts on Engineering Education” (pp. 391-408) de Turek y Mistina.

Finalmente, en el volumen *Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process* editado por Michelfelder, McCarthy y Goldberg (2013) aparecen algunas de las más recientes contribuciones en pedagogía ingenieril: “Transferable Skills Development in Engineering Students: Analysis of Service-Learning Impact” (pp. 65-78) de Rizzo, Dewoolkar y Hayden; y “Future Reflective Practitioners: The Contributions of Philosophy” (pp. 79-90) de Schiaffonati.

⁵⁸ Cfr. Bucciarelli, L.L. (2003): *Op. cit.*, pp. 87-96.

⁵⁹ Christensen, S.H., Meganck, M. & Delahousse, B. (eds.) (2007): *Philosophy in Engineering*, Aarhus: Academica, 430 pp.

1.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Como el enfoque estratégico de la investigación se realiza desde la filosofía de la tecnología, aplicada a la ingeniería, se hace de modo que participa y trata de avanzar en el sentido propuesto por Quintanilla (2005: 17-18) de que “en filosofía de la tecnología podemos progresar (es decir, podemos avanzar en la comprensión de la naturaleza y el valor de la técnica para la humanidad) si seguimos una estrategia parecida a la que muchos filósofos de la ciencia han seguido desde hace tiempo: por una parte, utilizar métodos rigurosos y precisos para analizar los problemas y reconstruir los conceptos filosóficos que están presentes de forma intuitiva en la actividad científica, por otra parte, tomar como material de trabajo problemas reales planteados en la práctica de la investigación científica, y no viejos problemas escolásticos irrelevantes.”

La metodología de la investigación parte del estado actual de la cuestión, esto es, de la ausencia no sólo de una metodología de elucidación filosófica de una ingeniería, entendida como actividad tecnológica, sino también de un corpus filosófico sobre ingenierías como la ingeniería civil y ambiental. Es importante, por otra parte, que el objeto de elucidación filosófica sea una ingeniería, puesto que la propia metodología ingenieril de formulación de problemas, diseño de alternativas y modelización de soluciones, puede llegar a tener su reflejo en la metodología de la investigación o elucidación filosófica, que también es una cuestión de formulación de problemas, diseño de alternativas y elaboración de modelos (de elucidación).

Por estas razones, la metodología de la investigación parte del presupuesto de que una elucidación filosófica es una cuestión de diseño, y por tanto metodológicamente equivalente al proceso de diseño que puede seguirse en actividades tecnológicas. Unos métodos que pueden ser de carácter tecnológico, y como método tecnológico compartir la secuencia genérica de diseño que, entre otros, señala Bunge (1985: 236): reconocimiento y formulación de un problema práctico - diseño de proceso que pueda resolver el problema hasta cierto punto de aproximación - construcción de un modelo a escala - prueba - evaluación - revisión del diseño, prueba o problema. En cierto modo, podría decirse que una elucidación filosófica es un diseño de operaciones de naturaleza filosófica para la resolución de un problema planteado en el ámbito filosófico.

Ante esta situación, y dada la ausencia de reflexiones filosóficas integrales sobre este tipo de actividad tecnológica ingenieril, surge la conveniencia de emprender una tarea de elucidación filosófica de la actividad ‘ingeniería sanitaria’. Para ello, la metodología general que se sigue es de tipo cualitativo, analítico-sintético, a partir de diferentes textos de los sectores centrales a la actividad y a sus relacionados, y a partir también del conocimiento de la práctica de la actividad. Desde otro punto de vista, puede afirmarse que la metodología es mixta, de tipo descriptivo-teórico, ante el objetivo final que es la clarificación conceptual –en el más amplio sentido– de la ingeniería sanitaria. Una clarificación que ya en 1921 Wittgenstein sitúa en el centro de la actividad filosófica, ya que para él la elucidación se convierte en una de las operaciones más relevantes.

La elucidación, y en particular la elucidación filosófica, es una actividad de clarificación conceptual, como la desarrollada por Carnap (1950) en su obra sobre los fundamentos lógicos de la probabilidad, cuando plantea la elucidación como un procedimiento de tránsito desde el *explicandum* (concepto inexacto, precientífico) hasta el *explicatum* (concepto exacto): “El explicatum (en mi sentido) es en muchos casos el resultado de un análisis del explicandum (y

esto motivó mi elección de los términos); en otros casos, sin embargo, se aparta deliberadamente del explicandum, pero todavía lo reemplaza de alguna manera”⁶⁰.

El *explicatum*, como producto de la elucidación, debe satisfacer, respecto al *explicandum*, un conjunto de requisitos de adecuación: (1) semejanza con el *explicandum*, (2) exactitud, (3) fertilidad, y (4) simplicidad. Estos requisitos de adecuación entre el *explicandum* y el *explicatum* son, por su importancia, merecedores de una especial clarificación por parte de Carnap. Los requisitos no son igualmente importantes entre ellos, sino que el autor sugiere que se utilicen con prudencia, sometidos al objetivo final de la efectiva clarificación conceptual. Después de los requisitos de semejanza y exactitud, que reflejan la correspondencia entre los dos conceptos, aparece el de fertilidad. Así “un concepto científico es tanto más fértil cuanto más puede ponerse en relación con otros conceptos sobre la base de los hechos observados”. El último requisito de adecuación es el de simplicidad, una cualidad estimada y preferida ante alternativas similares en los tres requisitos anteriores, que según Carnap puede medirse de dos formas: en primer lugar por la simplicidad de la forma de su definición, y en segundo lugar por la simplicidad de las formas de las leyes que conectan al concepto con otros.⁶¹

Esta idea de conexión de unos conceptos con otros, llevaría a la idea de ‘red de conceptos’ o ‘red conceptual’, que sin embargo ha sido escasamente utilizada en filosofía de la tecnología (o en la filosofía de la ciencia), con excepciones como la de Friedrich Rapp (1986), quien afirma que “en cualquier disciplina científica existe una red conceptual específica que incluye los conceptos pertinentes clave, los supuestos básicos, las preguntas estándar, y una gama de respuestas admisibles.”⁶² Una red conceptual específica que es el aparato teórico que, de acuerdo con este autor, se construye para identificar y estudiar en detalle ciertos sectores del universo, lo que en mi opinión también serviría para identificar y estudiar en detalles actividades concretas, en este caso la actividad ingenieril; o incluso para avanzar en el planteamiento de la actividad ingenieril como un sistema de acciones capaz de identificar y estudiar en detalle ciertos sectores.

A partir de este punto, lo que voy a procurar es indagar en la formación de un camino metodológico general para la elucidación filosófica de actividades ingenieriles, aproximadas inicialmente desde una visión como cosas, hechos o fenómenos (*explicandum*), hasta ser descritas, representadas y analizadas como un complejo de sistemas (*explicatum*). Esto permitirá disponer de un modelo de elucidación filosófico más general (de la ingeniería), para llegar a hacerlo a continuación en la forma específica de la ingeniería civil y ambiental sanitaria.

El proceso de elucidación tal vez puede relacionarse con el ejemplo del proceso de construcción de una casa. Si bien una vez que está terminada puede tener un sótano, una planta baja, una planta superior y un tejado, lo que está claro es que la casa no se construye totalmente piso a piso, sino que hay un proceso de recurrencia, de modo que el orden de construcción no es el final de la estructura, sino el que requieren distintas operaciones (cimentación, estructuras, tabicado, instalaciones y servicios, y mobiliario), que deben conjugarse con el hecho de la estructura de la casa.

Entonces, podría plantearse que la metodología de investigación (una elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria) responde al orden de tres pisos, desde lo más

⁶⁰ Carnap, R. (1950): *Logical foundations of Probability*, Chicago: University of Chicago Press, p. 3 (ed. 1962).

⁶¹ Cfr. Carnap, R. (1950): *Logical foundations of Probability*, pp.5-8 (ed. 1962).

⁶² Rapp, F. (1986): “The Theory-ladenness of Information” (pp. 49-62), en: Mitcham, C. & Huning, A. (eds) *Philosophy and Technology II. Information Technology and Computers in Theory and Practice*.

general a lo más específico, en donde van desarrollándose también –como método de investigación– elucidaciones progresivas. En primer lugar estarían las bases para una elucidación filosófica de tecnologías, en donde se observa la conveniencia y oportunidad de elucidar la ingeniería, como actividad, desde la filosofía de la tecnología, con una orientación práctica y una ontología sistémica, hasta llegar a lo que podrían ser las bases de lo que denomino ‘modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de tecnologías’. En el segundo piso se proceden con métodos de investigación para particularizar y desarrollar el modelo de elucidación filosófica sistemista al grupo de las tecnologías ingenieriles (o ingenierías), articulado como un sistema complejo de sistemas. Finalmente, se procede con los métodos de investigación para particularizar aún más el modelo de elucidación filosófica sistemista, hasta el caso concreto de la ingeniería ambiental sanitaria.

1.4 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

La estructura del trabajo responde a los objetivos y metodología de la investigación. La metodología de investigación tiene unas particularidades respecto a las metodologías estándar (por así decirlo) de investigación doctoral.

A partir del capítulo 1, el documento está dividido en tres partes. La primera parte ‘Bases para una elucidación filosófica de tecnologías’, incluye dos capítulos metodológicos. El capítulo 2, titulado ‘Elucidación filosófica e ingeniería (objeto y método)’ en donde se ponen en contacto la actividad elucidatoria filosófica con el diseño ingenieril, señaladamente mediante la conceptualización en los métodos ingenieriles. El otro capítulo metodológico de esta primera parte es el 3 ‘Hacia una elucidación filosófica sistemista de tecnologías’, donde se explica por qué esta elucidación arranca desde la filosofía de la tecnología, y la posibilidad de una elucidación filosófica de corte sistemista, hasta llegar a plantear el método y modelo (Bunge-Quintanilla) para una elucidación filosófica sistemista.

La segunda parte ‘Una elucidación filosófica sistemista de la ingeniería’ consta también de dos capítulos. Comienza con el capítulo 4, en donde se expone el arranque de una elucidación sistemista, bajo el modelo Bunge-Quintanilla, desde la tecnología ingenieril (o ingeniería) como *explicandum*, como punto de partida desde el conocimiento ordinario de la actividad ingenieril. Desde ahí se pasa a considerar de forma amplia el conjunto de los sistemas de campo (ontológico, epistemológico, metodológico, axiológico) así como los sistemas semióticos y los sistemas funcionales praxiológicos, que permitirían dar cuenta – como sistema complejo– de la ingeniería en tanto actividad.

Esta segunda parte se concluye con un extenso capítulo 5, en donde se expone con detalle lo que sería un modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de una ingeniería, y por tanto de la ingeniería como *explicatum*. Este capítulo se organiza en cinco subcapítulos, que pretenden dar idea completa del sistema complejo de la actividad ingenieril: i) el mundo de la ingeniería, con el sistema óntico material ingenieril; ii) los sistemas semióticos, lingüísticos, como puente entre el mundo y la cultura inmaterial ingenieril; iii) los sistemas conceptuales de la ingeniería (epistémico, metodológico, axiológico y ético) como cultura ingenieril; iv) la práctica de la ingeniería que se presenta desde los sistemas funcionales praxiológicos; y v) la dimensión temporal e historicidad de los sistemas de la ingeniería.

La parte tercera ‘Caso de elucidación de la ingeniería ambiental sanitaria’, presenta el caso de aplicación del modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista a una específica ingeniería, a la ingeniería ambiental sanitaria. En el capítulo 6 ‘La ingeniería sanitaria y ambiental como *explicandum*’ se presenta de forma muy resumida lo que podría ser una visión ordinaria de esta ingeniería, más que nada para presentarla como punto de partida para una elucidación. El capítulo 7 sería el de la ingeniería ambiental sanitaria como *explicatum*, y se corresponde básicamente a la organización del capítulo 5, si bien adecuado a las especificidades del caso de la ingeniería ambiental sanitaria.

Finalmente, se incluye un capítulo 8 de conclusiones, así como las referencias bibliográficas y documentales correspondientes.

PARTE 1ª BASES PARA UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA DE TECNOLOGÍAS

Esta primera parte tiene por objeto establecer las bases para avanzar en el diseño del significado, alcance y metodología de una propuesta marco para ‘una elucidación filosófica sobre tecnologías’. Una propuesta que conviene al objetivo general del trabajo, puesto que, como se ha visto en el estudio de antecedentes y del estado actual, no se dispone de un marco metodológico adecuado para investigaciones filosóficas (elucidatorias, sistemáticas e integradas) de las ingenierías. Y dado también que las ingenierías se acomodan en la familia más amplia de las tecnologías, llegamos al planteamiento por el que las ingenierías se entienden aquí como un caso específico dentro de la familia de las actividades tecnológicas.

Al menos hay tres motivos adicionales que aconsejan elaborar una propuesta de este tipo. En primer lugar, porque tradicionalmente las elucidaciones filosóficas sobre ciencia y tecnología vienen siendo elucidaciones conceptuales, centradas en el análisis filosófico de determinados problemas, pero no tanto en el conjunto de una actividad. El segundo motivo es que persigo seguir la línea adoptada por autores (como Kotarbinski, Bunge, Quintanilla, Agazzi o Marcos) que al filosofar sobre ciencia y tecnología las entienden como acciones⁶³, dado que ello sirve como marco para la investigación filosófica de actividades tecnológicas, como es el caso particular de las ingenierías. El último de los motivos es que, en gran medida, al entender la ciencia y la tecnología como acciones, se acompaña de un enfoque sistémico, como puede verse de nuevo en autores que tomo como referencias importantes: Mario Bunge⁶⁴, Miguel Ángel Quintanilla (1989, 2005)⁶⁵, Evandro Agazzi (1996)⁶⁶ y Alfredo Marcos (2010)⁶⁷.

En este punto conviene recordar que en ningún modo se pretenden establecer unas bases únicas para elucidar filosóficamente actividades tecnológicas, sino que se trata de explorar distintos enfoques, métodos y procedimientos de elucidación con el objeto de encontrar un camino (de entre los múltiples posibles) para esta tarea. De ahí que, en todo caso, se use la denominación de ‘una’ elucidación filosófica.

Como se conoce, las actividades tecnológicas no dejan de ser un conjunto de actividades dentro de uno más amplio que podríamos considerar como actividades intensivas en conocimiento, que a su vez formarían parte de un conjunto de actividades humanas y sociales, con la cualidad común de ser intensivas en conocimiento y creatividad, como sería –al

⁶³ Para Quintanilla (2005: 41) “la filosofía de la técnica [tecnología] es una reflexión de segundo orden sobre una clase de acciones humanas, y su problemática está a caballo de la filosofía práctica (filosofía de la acción, filosofía moral, etc.) y la teórica (epistemología, ontología).”

⁶⁴ Se destacan las obras de Mario Bunge ([1979] 2012) *Tratado de filosofía*. Vol. IV, *Ontología 2: Un Mundo de Sistemas*. Barcelona: Editorial Gedisa (ed. original en inglés, 1979); (1985) *Part II: Life Science, Social Science and Technology, Epistemology & Methodology III: Philosophy of Science and Technology*, *Treatise on Basic Philosophy*. Volume 7; (2002) *Ser, saber, hacer*, Ed. Paidós y UNAM: México; (2004) *Emergencia y convergencia*, Barcelona: Gedisa.

⁶⁵ Se destacan las obras de Miguel Ángel Quintanilla: (1989) *Tecnología: un enfoque filosófico*, Madrid: Fundesco; (2005) *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*, México: FCE.

⁶⁶ Agazzi, Evandro (1996): *El bien, el mal y la ciencia. Las dimensiones éticas de la empresa científico-tecnológica*, Madrid, Tecnos.

⁶⁷ Marcos, Alfredo (2010): *Ciencia y Acción. Una filosofía práctica de la ciencia*, México: FCE, 399 pp.

menos— el caso de la ciencia y de la tecnología⁶⁸. No se trata aquí de presentar los debates sobre clasificaciones y demarcaciones de las actividades humanas, sino de situar la tecnología y la ingeniería de modo que se vea claramente la posición por la que he optado en este trabajo, y el nivel (actividades tecnológicas) desde el que comienzo la ruta elucidatoria que lleva hasta el concreto ejemplo de elucidación de la ingeniería ambiental sanitaria.

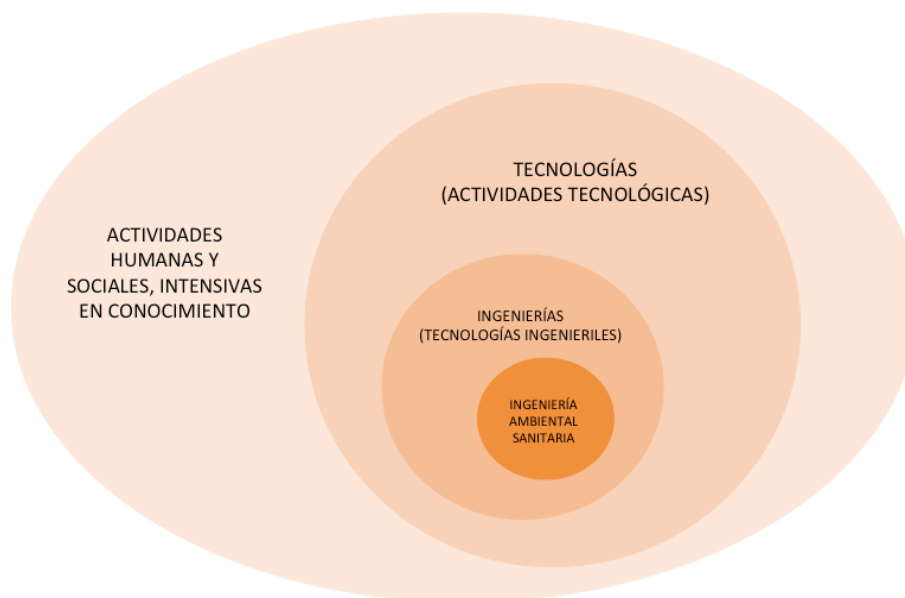


Fig. 2.a) Conjuntos de actividades consideradas: humanas sociales > tecnológicas > ingenieriles

Esta parte incluye dos capítulos. El primero ‘Elucidación filosófica e ingeniería (objeto y método)’, y el segundo ‘Hacia una elucidación filosófica sistemista de tecnología’. Las bases que se establecen en estos dos capítulos pretenden servir como fundamento para un proceso secuencial de elucidación filosófica de actividades, que se va a concretar progresivamente (partes y capítulos siguientes) en una ruta elucidatoria desde las actividades tecnológicas, pasando por las tecnologías ingenieriles (ingenierías) hasta la concreta aplicación al caso de la ingeniería ambiental sanitaria.

⁶⁸ Quiero sugerir que, además de la ciencia y de la técnica, podría incluirse al arte en este conjunto (triádico) de ‘actividades humanas vinculadas al conocimiento’. Cada vez con mayor frecuencia se están destacando las convergencias entre actividades humanas como la ciencia y el arte, como en *Arte y Ciencia: mundos convergentes*, de Castro & Marcos, 2010; así como de la técnica y el arte (citas de referencia). Unas convergencias que se establecen sobre la base, al menos, de aspectos epistemológicos, éticos, praxeológicos, estéticos e históricos que en mi opinión podría revelar unas corrientes profundas de interrelación entre una tríada arte-ciencia-técnica (ACT). Como ejemplo, las relaciones epistemológicas de esta tríada sirven para ilustrar efectivamente (Quintanilla, 2005: 242) los distintos dominios de conocimiento entre los extremos representacional/intuitivo y teórico/operativo, ofreciendo un campo continuo en donde aparecen estas tres actividades: arte, ciencia y técnica.

2 ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA E INGENIERÍA (OBJETO Y MÉTODO)

2.1 EL COMIENZO: DESDE LA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA CONCEPTUAL

En la descripción de los antecedentes y del estado actual de una filosofía ingenieril, ya ha podido observarse cómo se han utilizado diversos métodos para aproximarse filosóficamente a la ciencia y a la tecnología, y más en concreto a la ingeniería. Al revisar distintos métodos de investigación filosófica, destacan con mucho las elucidaciones filosóficas, fundamentalmente elucidaciones conceptuales, que se han realizado en el ámbito de la lógica, de las matemáticas y de la física.

Querría recordar que durante los siglos XIX y XX, algunos filósofos procedentes del campo formativo (o profesional) de las matemáticas, de tecnologías y de la ingeniería han realizado aportaciones absolutamente singulares en la filosofía. Tal es el caso de Charles Sanders Peirce (geodesta), Ludwig Wittgenstein (ingeniero mecánico y aeronáutico) y Carnap (matemáticas, física y filosofía). Con esto no trato de poner el foco en una suerte de ‘comunidad’ de filósofos-ingenieros, sino de actualizar las referencias y las condiciones de contexto personal formativo, de filósofos muy destacados, pero en quienes la formación universitaria inicial no es de tipo filosófico (o al menos no sólo de tipo filosófico) sino también matemático-tecnológico. Lo que querría señalar es el empeño de esta ‘comunidad virtual de tecnólogos-matemáticos’ insistiendo en equiparar la actividad filosófica con la clarificación, con la elucidación.

Cuando se intenta reconocer cuál es el método que subyace en los diferentes procesos de elucidación no resulta sencillo encontrar un modo común de afrontar las investigaciones filosóficas, sino que más bien cada autor sigue su propio camino en estas investigaciones, sin hacer prácticamente ninguna referencia metodológica a las obras de autores precedentes. Esto hace que sea más complicado identificar pautas metodológicas en la elucidación como investigación filosófica.

A falta de poder identificar un método común, puede ser de interés repasar lo que algunos autores singulares (Wittgenstein, Carnap y Strawson) entienden por elucidación filosófica. Esto me permitirá formular ciertas propuestas sobre elementos que creo que deben formar parte de una elucidación filosófica cuando aborda una ingeniería.

2.1.1 La filosofía como actividad elucidatoria, según Wittgenstein (1921)

Es prácticamente del conocimiento común que para el ingeniero, lógico y filósofo Wittgenstein: “El objeto de la filosofía es la aclaración lógica del pensamiento. Filosofía no es una teoría, sino una actividad. Una obra filosófica consiste esencialmente en elucidaciones. El resultado de la filosofía no son ‘proposiciones filosóficas’, sino el esclarecerse de las proposiciones. La filosofía debe esclarecer y delimitar con precisión los pensamientos que de otro modo serían, por así decirlo, opacos y confusos.”⁶⁹ Esta afirmación, encuadrada en la primera filosofía del autor, contiene dos partes de enorme calado. En primer lugar la caracterización de la filosofía como una actividad consistente en elucidaciones. Y en segundo

⁶⁹ Wittgenstein, L. (1921): *Tractatus Logico-Philosophicus*, TLP., prop. 4.112 (cita a partir de ed. castellana y trad. de Enrique Tierno Galván, Revista de Occidente, 1957, p. 79).

término, la precisión del objetivo de la filosofía, convertido en una exigencia, de clarificar y delimitar nítidamente los pensamientos.

Wittgenstein no se detiene a explicar de qué manera pueden clarificarse y delimitarse los pensamientos. Durante su primera etapa, probablemente considerara como más que suficiente estas afirmaciones que se enmarcan en su *Tractatus*, que debe ser leído como resultado de una actividad filosófica que recurre al análisis mediante aforismos que aportan elucidaciones. Tampoco en su segunda etapa, con *Investigaciones filosóficas*, Wittgenstein detallará su método elucidatorio, un método que en este caso se basa en la enseñanza ostensiva (Maruyana, 2009)⁷⁰, en los ejemplos, para conducir a un espacio de familiaridad (Cardona, 2001: 57)⁷¹.

De lo anterior, y como punto de partida, podemos extraer que para Wittgenstein la filosofía sería básicamente una actividad de elucidación, y que ésta consistiría en dos acciones diferentes pero complementarias: la clarificación y la delimitación. Unas acciones que tienen por objeto, respectivamente, reducir la turbidez y aumentar la nitidez de los pensamientos.

2.1.2 La elucidación filosófica conceptual desde R. Carnap (1950)

La elucidación filosófica es una actividad de clarificación conceptual, como la desarrollada por Rudolf Carnap (1950) en su obra *Logical Foundations of Probability*, cuando (en el marco de la filosofía de la ciencia) plantea la elucidación como un procedimiento de tránsito desde el *explicandum* (concepto inexacto, precientífico) hasta el *explicatum* (concepto exacto): “El explicatum (en mi sentido) es en muchos casos el resultado de un análisis del explicandum (y esto motivó mi elección de los términos); en otros casos, sin embargo, se aparta deliberadamente del explicandum, pero todavía lo reemplaza de alguna manera”⁷².

Una elucidación filosófica se presenta como una técnica de investigación filosófica sobre determinados problemas conceptuales, que son problemas abiertos (o también de tipo inverso⁷³) y que como señala Carnap (1950: 4-5) son distintos de los problemas científicos comunes:

Un problema de elucidación es característicamente distinto de los problemas científicos (lógicos o empíricos) comunes, en los que ambos, el dato y la solución, en condiciones favorables, se formulan en términos exactos (por ejemplo, ‘¿cuál es el producto de 3 por 5?’, ‘¿qué ocurre cuando una corriente eléctrica pasa por agua?’). En un problema de elucidación el dato, a saber, el *explicandum*, no está dado en términos exactos; si lo estuviera, no sería necesario explicación alguna. Puesto que el dato es inexacto, el problema mismo no se formula en términos exactos, sin embargo, se nos pide una solución exacta. Esta es una de las extrañas peculiaridades de la elucidación. Se sigue que, si se propone una solución del

⁷⁰ De acuerdo con Maruyama (2009) el concepto de ‘elucidación’ no sólo fue importante en la primera filosofía de Wittgenstein, sino que se pueden observar algunos aspectos de la elucidación tractariana en su transición hacia su filosofía final. En ella, el autor considera que su consideración de la enseñanza ostensiva como un método de elucidación es crucial para el desarrollo y consistencia de su filosofía. Véase: Maruyama, Y. (2009): “Elucidation in Transition of Wittgenstein’s Philosophy”, Papers of the 32nd International Wittgenstein Symposium 9-15 August 2009. Sprache und Welt - Language and World. Eds. Volker A. Munz, Klaus Puhl, Joseph Wang. Kirchberg am Wechsel: ALWS 2009.

⁷¹ Cardona Suárez, C.A. (2001): “Elucidación por ejemplos en Wittgenstein”, *Universitas Philosophica*, 36, pp. 55-83, junio 2001, Bogotá, Colombia.

⁷² Carnap, R. (1950): *Logical Foundations of Probability*, Chicago: University of Chicago Press, p. 3 (ed. 1962).

⁷³ Como se verá más adelante, de acuerdo con Bunge (2004), los problemas de tipo inverso son aquellos para los que no existe una solución única, como es en su mayor parte el caso en las tecnologías y más en concreto en la ingeniería. Posteriormente insistiré en este paralelismo entre el tipo de problemas que interesa a la elucidación filosófica y el tipo de problemas que interesa al diseño ingenieril.

problema de la elucidación, no podemos decidir de una manera exacta si es correcta o errónea. En rigor, la cuestión de si la solución es correcta o errónea no tiene mucho sentido porque no existe una respuesta neta. La cuestión debiera ser, más bien, si la solución propuesta es satisfactoria, si es más satisfactoria que otra, etc.

Es por este motivo que el *explicatum*, como resultado de la elucidación, debe satisfacer, respecto al *explicandum*, un conjunto de requisitos de adecuación. Pero, siguiendo a Carnap (1950): “antes de abordar la cuestión principal a saber, cuáles son los requisitos de una solución satisfactoria de un problema de elucidación (esto es, los requisitos de un explicatum satisfactorio) examinemos un poco más de cerca la manera en que debe enunciarse el problema, es decir, en qué hay que dar en el explicandum.”

Como la elucidación filosófica parte de un problema abierto o inverso (*explicandum*) condiciona que no pueda darse sin más una respuesta única correcta, sino una respuesta satisfactoria, a la luz de una serie de requisitos de adecuación. También, al tratarse de un problema abierto, el trabajo inicial con el problema conceptual no se limita a exponer el problema, sino que requiere un cierto grado de elaboración previa. Podría decirse en cierto modo que el *explicandum* no es el problema ‘en crudo’, sino que requiere un cierto grado de elaboración, como sugiere Carnap (1950: 4):

Uno se siente tentado de pensar que, puesto que de todas maneras el explicandum no puede darse en términos exactos, no interesa mucho la manera en que formulamos el problema. Pero esto sería equivocado. Por el contrario, puesto que ni siquiera en el mejor de los casos podemos alcanzar una exactitud completa, a fin de evitar que la discusión del problema se vuelva enteramente estéril, debemos hacer cuanto podamos para tornar al menos prácticamente claro lo que se entiende por el explicandum. (...) Me parece que, al plantear problemas de análisis o de elucidación, los filósofos violan este requisito con frecuencia. Formulan preguntas tales como ‘¿Qué es la causalidad?’, ‘¿Qué es la vida?’ ‘¿Qué es la mente?’ ‘¿Qué es la justicia?’, etc. Luego, a menudo proceden de inmediato a buscar una respuesta sin antes examinar la suposición tácita de que los términos de la cuestión son por lo menos lo suficientemente claros en la práctica para que sirvan de base a una investigación, a un análisis o a una elucidación. Aún cuando los términos en cuestión sean no sistemáticos, inexactos, hay medios para alcanzar un entendimiento mutuo relativamente bueno en lo que se refiere al significado intencional de esos términos. Una indicación del significado con ayuda de algunos ejemplos del uso que se propone y otros ejemplos de usos que ahora no se proponen puede ayudar la comprensión. Puede añadirse una explicación informal en términos generales. Todas las explicaciones de esta clase sólo sirven para aclarar el significado del explicandum; todavía no suministran una elucidación, por ejemplo, una definición del explicatum; todavía pertenecen a la formulación del problema, aún no a la construcción de una respuesta.

Esto muestra que el proceso de elucidación debe contar al menos con dos fases diferenciadas. Una primera, de formulación del problema, en que se aclara el significado y alcance del *explicandum*. Y al menos una segunda fase en que se procede a la construcción de la respuesta, como puede derivarse de las palabras de Carnap (1950: 5) “la tarea de la elucidación puede caracterizarse como sigue: si se da un concepto como explicandum, se trata de encontrar otro que sea su explicatum, que llene los siguientes requisitos en un grado suficiente.” La dificultad se encuentra precisamente en ese ‘tratar de encontrar otro que llene los requisitos’. De esto se observa la importancia de los requisitos de la elucidación filosófica.

La respuesta debe ser conforme, de acuerdo con esta elucidación carnapiana de conceptos científicos, a cuatro requisitos que relacionan el *explicandum* con el *explicatum*, como son: (i) semejanza con el *explicandum*, (ii) exactitud, (iii) fertilidad, y (iv) simplicidad. Estos requisitos de adecuación entre el *explicandum* y el *explicatum* son merecedores de una especial atención por parte de Carnap. Los requisitos no son igualmente importantes entre ellos, sino que el autor sugiere que se utilicen con prudencia, sometidos al objetivo final de la efectiva clarificación conceptual.

Después de los requisitos de semejanza y exactitud, que reflejan la correspondencia entre los dos conceptos (*explicandum/explicatum*), aparece el de fertilidad. Así “un concepto científico es tanto más fértil cuanto más puede ponerse en relación con otros conceptos sobre la base de los hechos observados”. El último requisito de adecuación es el de simplicidad, una cualidad estimada y preferida ante alternativas similares en los tres requisitos anteriores, que según Carnap puede medirse de dos formas: en primer lugar por la simplicidad de la forma de su definición, y en segundo lugar por la simplicidad de las formas de las leyes que conectan al concepto con otros.⁷⁴

A partir de lo anterior, adoptaré la idea del *explicandum* y del *explicatum*, como principio y final del método elucidatorio. Cuando Carnap plantea los requisitos de adecuación, establece unas observaciones que conviene no pasar por alto si se está indagando sobre cómo desarrollar una elucidación filosófica que vaya más allá del tratamiento de conceptos aislados, para elucidar una serie de conceptos y sus relaciones. Así, sugiere el requisito de ‘fertilidad’ (del concepto) en tanto puede ponerse en relación potencial con otros conceptos (con una denominación que aparecerá en Strawson, por ejemplo) con una red conceptual. Para la ‘simplicidad’, aunque es un criterio subordinado, establece la preferencia por las formas de las leyes que conectan al concepto con otros, de modo que se aprecie la mayor simplicidad de la estructura de una red conceptual. Esto supone que esta elucidación filosófica carnapiana atiende no solamente a los conceptos directamente elucidados sino también a los conceptos vinculados y a las relaciones entre estos; llegando incluso (en el caso de los conceptos científicos) a poderse establecer una progresión entre clases de conceptos⁷⁵.

Lo que se ha visto permite identificar ciertas pautas metodológicas elucidatorias: (i) que los problemas a elucidar son problemas abiertos o inversos; (ii) que la elucidación tiene una primera fase de clarificación y elaboración del *explicandum*; (iii) que el proceso de elucidación (al menos de conceptos científicos) requiere que la solución (*explicatum*) satisfaga en la mayor medida los requisitos de semejanza, exactitud, fertilidad y sencillez; y (iv) que para hacer el análisis de los requisitos debe atenderse no solamente a los conceptos que se están elucidando, sino también a otros conceptos vinculados e incluso a sus relaciones.

Sobre dos concepciones de la elucidación filosófica, por el ingeniero Coffa (1975)

A mediados de los años setenta, el ingeniero civil y filósofo J. Alberto Coffa presenta su ensayo “Dos concepciones de la elucidación filosófica”. Una presentación que es seguida

⁷⁴ Cfr. Carnap, R. (1950): *Logical foundations of Probability*, pp.5-8 (ed. 1962).

⁷⁵ La elucidación que propone Carnap en esta obra se orienta a conceptos científicos, entre los que señala tres tipos de especial importancia: clasificatorios, comparativos y cuantitativos. “Los conceptos clasificatorios son la clase de conceptos más simples y menos eficaces. Los conceptos comparativos son más poderosos, y los cuantitativos lo son aún más; es decir, nos permiten dar una descripción más precisa de una situación concreta y, lo que es más importante, formular leyes generales más amplias. Por lo tanto, el desarrollo histórico del lenguaje es a menudo el siguiente: un cierto aspecto de hechos observados en la naturaleza se describe primeramente con la ayuda de un concepto clasificatorio; más adelante se emplea un concepto comparativo en lugar o además de un concepto clasificatorio; y más adelante aun, se introduce un concepto cuantitativo. (Por supuesto, estas tres etapas de desarrollo se producen siempre en este orden temporal).” Carnap, R. (1950): *Op. cit.*, p. 12 (ed. 1962).

por una réplica de T.M. Simpson en la misma revista: *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*. Años más tarde, se sumará Manuel Comesaña a este diálogo.

Este episodio sería poco relevante si no fuera porque con la publicación de Coffa de 1975 se contribuye a asentar el término ‘elucidación’ en el campo filosófico hispanoamericano, porque académicamente el autor combina la condición de ingeniero civil y de filósofo, porque el autor identifica dos enfoques (alternativos e incompatibles) de elucidación en lo que llamará elucidación a la Quine [sustitutiva] y a la Tarski [clarificatoria], y porque Coffa (en su posición favorable a las tesis de Tarski) procura exponer los pasos de un proceso de elucidación.

Para Coffa (1975) en un proceso elucidatorio a la Tarski es posible identificar tres componentes esenciales: “primero el *explicandum*, un concepto definido de manera más o menos vaga que funciona como objeto de la elucidación; segundo, una clase de condiciones o requisitos derivado por medio de un análisis parcial del *explicandum*, condiciones que un concepto debe satisfacer si ha de servir como *explicatum* del *explicandum* dado; y tercero, el *explicatum*, un atributo definido de manera precisa y que satisface las condiciones identificadas en el segundo paso.”⁷⁶

Coffa establece una suerte de triple estadio en el proceso elucidatorio, en donde hay que señalar, para el desarrollo del segundo paso, que las condiciones que debe satisfacer el *explicatum* se derivan del análisis parcial del *explicandum*, y no son por tanto necesariamente equivalentes a los cuatro requisitos generales que, para Carnap, debe satisfacer el *explicatum* respecto al *explicandum*.

Coffa, como se observa en el resto del debate que se desarrolla en las siguientes décadas, está poniendo de manifiesto un conflicto entre dos posibles visiones del método de elucidación conceptual: clarificatoria o sustitutiva. Veinte años después del ensayo de Coffa, y en el marco del homenaje al libro *Formas lógicas, realidad y significado* de Thomas M. Simpson, se refleja una visión actualizada del proceder de la elucidación filosófica. A la vuelta de la presentación de Manuel Comesaña “Análisis y elucidación: un módico homenaje a Simpson”⁷⁷ estaría el comentario de Thomas M. Simpson (1995), titulado “Elucidaciones filosóficas”⁷⁸, en donde puede destacarse la conexión de la postura de Simpson con la de Comesaña⁷⁹.

Sin embargo, lo que más me interesa destacar aquí es la validación que hace Simpson de la propuesta de dos tipos de elucidaciones que sugirió Coffa. En este sentido, Simpson (1995: 89) mantiene que: “Las dos concepciones opuestas de la elucidación filosófica que Coffa encarnó, didácticamente, en Tarski y Quine, podrían describirse como ‘elucidación clarificatoria’ y ‘elucidación sustitutiva’. En la primera, el proceso elucidatorio contendría tres etapas; en la segunda, solamente dos. Esta diferencia es esencial, ya que la primera etapa

⁷⁶ Coffa, J.A. (1975): “Dos concepciones de la elucidación filosófica”, *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, Vol. 7, No. 21 (Dic., 1975), pp. 43-67, p. 52.

⁷⁷ Comesaña, M. (1995): “Análisis y elucidación: un módico homenaje a Simpson” (pp. 55-65) en *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, vol. 27, No. 79, Apr., 1995.

⁷⁸ Simpson, T.M. (1995): “Comentarios. Elucidaciones filosóficas”, pp. 86-91, *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, Vol. 27, No. 79, Apr., 1995 (Homenaje a “Formas lógicas, realidad y significado” de Thomas M. Simpson).

⁷⁹ Sin entrar en detalles sobre las contribuciones de Comesaña, que pueden verse en la referencia, puede destacarse la conexión de la postura de Simpson con la de Comesaña: “Simpatizo, en general, con la actitud gradualista de Comesaña respecto de la opción entre ‘análisis’ y ‘reemplazo’. Pero sigo creyendo que en este punto la diferencia con Quine es en gran parte terminológica. Para Quine la elucidación no es sólo reemplazo sino también preservación de *usos y verdades* generados por la expresión problemática inicial; el *explicatum* deberá exhibir, en grados diversos, ‘concordancias parciales’ y ‘paralelismo de funciones’ con el *explicandum*. Le será fiel en todo lo que se considere ‘digno de salvarse’, y razonablemente infiel en lo demás. Un acento prudente en el reemplazo posee, sin embargo, la virtud de iluminar el aspecto constructivo y reformista que marca el desarrollo de nuestro aparato conceptual.” (Simpson, 1995:86).

consiste en la identificación del concepto a elucidar, lo que establece una conexión inteligible entre el *explicandum* y el *explicatum*, conexión que faltaría en la elucidación sustitutiva. Sin duda no hay *explicatum* sin *explicandum*; pero sería erróneo imaginar que la identificación del *explicandum* es una especie de ostensión infalible, mediante la cual el filósofo muestra el concepto que está bajo su mirada.”

El discurso de Coffa (1975) pone de manifiesto que la ‘elucidación filosófica’ se consolida como término y que es objeto de debates en la filosofía hispanoamericana ya a partir de los años setenta. Pero lo más importante, a los efectos de pautas metodológicas para una elucidación filosófica, son tres de cuestiones. En primer lugar el hecho de que la elucidación se considere básicamente como un proceso de clarificación conceptual, más que como un proceso de sustitución. En segundo lugar, que Coffa identifica tres fases en el proceso de elucidación filosófica, de modo se tendría: una fase (1) del *explicandum*, definido como objeto de la elucidación; una fase (2) de análisis parcial del *explicandum* para derivar una serie de condiciones que debe cumplir el *explicatum*; y una fase (3) de *explicatum*, como atributo definido con precisión que satisface las condiciones. En tercer lugar hay que destacar que Coffa no habla de los cuatro requisitos (semejanza, exactitud, fertilidad y sencillez) que plantea Carnap, sino que sugiere que en esa segunda fase se analice parcialmente el *explicandum* para determinar las condiciones o requisitos que deberá cumplir el *explicatum*.

Estas propuestas de Coffa son sustancialmente consistentes con las de Carnap, de modo que me permiten –como una primera aproximación– intentar recomponer unas bases metodológicas de elucidación a partir de las bases que he extraído de Carnap.

De este modo podrían proponerse, hasta el momento, los siguientes fundamentos metodológicos para una elucidación filosófica: (i) que los problemas a elucidar son problemas abiertos o inversos; (ii) que la elucidación filosófica es un proceso esencialmente clarificador; (iii) que en la elucidación se da una primera fase de clarificación y elaboración del *explicandum*, que puede denominarse de esta misma manera; (iv) que habría una segunda fase en la elucidación, en donde a partir del análisis parcial del *explicandum*, se determinan las condiciones y requisitos que deberá cumplir un *explicatum* satisfactorio; (v) que en esta denominada segunda fase del proceso de elucidación (al menos de conceptos científicos) se considerarán, como mínimo, los requisitos de semejanza, exactitud, fertilidad y sencillez; (vi) que para hacer el análisis de requisitos debe atenderse no solamente a los conceptos directamente en elucidación, sino también a otros conceptos vinculados e incluso a sus relaciones; y (vii) que la tercera fase (*explicatum*) es la de identificación del *explicatum*, una vez seleccionado como aquél que resulta más satisfactorio de acuerdo a las condiciones y requisitos establecidos en la fase anterior.

2.1.3 Elucidación filosófica y análisis conectivo (sistemista) en Strawson (1992)

He sugerido antes las potenciales implicaciones de la elucidación filosófica carnapiana en redes conceptuales. Unas redes que no forman parte esencial de la obra de Carnap aunque, como se ha visto antes, podría afirmarse que al menos dos de los cuatro requisitos de adecuación carnapianos requieren un análisis combinado de los conceptos a elucidar con otros conceptos relacionados. En este sentido, otros filósofos, como Peter Strawson (1992)⁸⁰, han trabajado expresamente la idea de elucidación de redes conceptuales a través de propuestas de análisis conectivo. Pero la posición de Strawson va más allá de una ampliación del ámbito de

⁸⁰ Strawson, Peter F. (1992): *Analysis and metaphysics: an introduction to philosophy*, (ed. citada en castellano, *Análisis y Metafísica. Una introducción a la Filosofía*, 1997, Paidós: Barcelona).

la elucidación filosófica del concepto para incluir también las relaciones en una red de conceptos.

Como se acaba de ver, el artículo de Comesaña (1995) “Análisis y elucidación”⁸¹ pone de manifiesto que en la década de los noventa aún continúan los debates en torno a la naturaleza de la elucidación filosófica, sobre si la misma se apoya en la clarificación conceptual mediante el análisis (*cf.* Carnap y Coffa) o mediante procesos de sustitución o reemplazo (*cf.* Quine, Simpson). Sin embargo, Peter Strawson, también en esta época y desde la filosofía analítica, no entra en estas cuestiones, sino que se pregunta –con un sentido ciertamente más práctico– sobre la posibilidad de ampliar y tal vez redefinir el método y alcance de la actividad analítica⁸².

En este sentido, en la nota crítica “Elucidación filosófica y actividad analítica”⁸³ Wenceslao González (1992) se apoya en las reflexiones del libro *Analysis and Metaphysics* de P.F. Strawson (1992) para resaltar las diferencias entre la elucidación y la actividad analítica, debido a la “frecuente asociación de ‘análisis’ con el modelo filosófico que sugiere la idea de descomponer un todo en sus partes, lo complejo en lo simple”. González señala que Strawson “introduce *elucidation*, que corresponde a una forma de entender la actividad analítica, tras descartar que el análisis filosófico haya de seguir siempre la dirección de ir hacia lo más simple”⁸⁴, lo que Strawson plantea al menos a partir de 1959 en *Individuals*⁸⁵.

A estas alturas, Strawson [1992] (1997), en su capítulo “¿Reducción o conexión? Conceptos básicos” quiere advertir del riesgo de que la actividad analítica lleve a formas de reduccionismo conceptual, ante lo que propone un modelo alternativo de análisis filosófico que sea un “modelo de trazar conexiones en un sistema, mejor que el de reducir lo complejo a elementos simples”⁸⁶. Esta propuesta de Strawson representa, al margen de que se acepte o no que se trata de una alternativa, una ampliación del propio marco conceptual sobre la actividad elucidatoria. Se trata de una propuesta que permite enriquecer nuestro conocimiento sobre métodos de elucidación filosófica. Aunque Strawson no realiza una exposición metodológicamente detallada, sus propuestas son muy relevantes, tanto respecto a un nuevo tipo de modelo elucidatorio sistemista, como a la noción vinculada de ‘concepto básico’ que responde a los elementos que se encontrarían conectados.⁸⁷

La propuesta de Strawson (1997: 63) de un nuevo modelo de análisis filosófico se encuentra prácticamente completa en el párrafo que se cita a continuación:

Consideremos ahora un modelo bastante diferente de análisis filosófico. Voy a decir de este nuevo modelo que es más realista y más fructífero que el que acabo de discutir. (Podría pensarse que, a propósito de este modelo, es bastante mejor

⁸¹ Comesaña, M. (1995): “Análisis y elucidación: un módico homenaje a Simpson”, *CRÍTICA, Revista Hispanoamericana de Filosofía*, Vol. XXVII, No. 79 (abril 1995): 55–65.

⁸² De acuerdo con Strawson, en referencia con la actividad filosófica analítica: “el título de «filosofía analítica», que ella misma se ha auto-otorgado, sugiere que la descripción apropiada de su actividad favorita es el «análisis conceptual». Y puede que, como nombre suyo, esta expresión le sea suficientemente adecuada. Como descripción sería menos satisfactoria. Creo que un análisis se puede entender como un tipo de partición o descomposición de algo. De ahí que tengamos la imagen de un tipo de trabajo intelectual que consiste en desmenuzar ideas o conceptos: en descubrir cuáles son los elementos en los que se descompone un concepto o una idea” En: Strawson, P.F. (1992): *Analysis and metaphysics: an introduction to philosophy*, (ed. citada en castellano, *Análisis y Metafísica. Una introducción a la Filosofía*, 1997, Paidós: Barcelona), p. 44.

⁸³ González, W.J. (1992): “Elucidación filosófica y actividad analítica”, *Daimon Rev. Int. de Filos.*, 5, pp. 201-210.

⁸⁴ González, W.J. (1992): *Op. cit.*, p. 202.

⁸⁵ Strawson, P.F. (1959): *Individuals. An Essay in Descriptive Metaphysics*, Methuen: Londres.

⁸⁶ Strawson, P. F. (1997): *Op. cit.*, p. 69.

⁸⁷ En la detallada introducción a Strawson (1997) “Introducción. P.F. Strawson, un metafísico tolerante”, Vicente Sanfélix señala cómo en el análisis conectivo “los conceptos se clarifican al mostrar sus mutuas relaciones” (p. 27).

usar la palabra «elucidación» que la palabra «análisis», aunque esta última sugiere con fuerza el modelo de la descomposición; me decantaré por ella, porque se halla consagrada por el uso y porque, en cualquier caso, tiene un sentido más comprensivo que la primera.)

Abandonemos la noción de simplicidad perfecta de conceptos; abandonemos incluso la idea de que el análisis debe proceder siempre en la dirección de la mayor simplicidad. En lugar de ello, imaginemos el modelo de una elaborada red, de un sistema, de elementos conectados entre sí, de conceptos; un modelo en el que la función de cada elemento, de cada concepto, sólo puede comprenderse apropiadamente desde el punto de vista filosófico captando sus relaciones con los demás, su lugar en el sistema. Todavía sería mejor sugerir la imagen de un conjunto de sistemas de este tipo formando todo él un dispositivo mayor. De adoptar este modelo, no habría razón para preocuparse si, en el proceso de trazar las conexiones entre un punto y otro de la red, nos encontrásemos retrocediendo o pasando por el punto de partida.

Este modelo de elucidación como análisis conectivo supone asumir un modelo sistémico, y por tanto una estructura conceptual que refleja tanto los elementos (conceptos) como sus relaciones. Así, este tipo de modelo está basado en la noción de ‘concepto básico’: “Un concepto o un tipo de concepto es básico en el sentido pertinente, si es uno de esos conceptos o tipos de conceptos generales, omnipresentes y en última instancia irreducibles que forman en conjunto una estructura, estructura que constituye el marco de nuestro pensamiento y discurso ordinarios y que presupone las varias disciplinas especializadas o avanzadas que contribuyen, de formas diversas, a nuestra imagen total del mundo.”⁸⁸

Aquí se comprueba que los requisitos del ‘concepto básico’, como elemento componente de una estructura conceptual elucidada según el modelo de análisis conectivo de Strawson, resultarían de “buscar conceptos que fuesen altamente generales; que no fuesen descomponibles (o sea, que se resistieran a la definición reductiva), y que fuesen no contingentes.”⁸⁹ Respecto a la irreducibilidad, el autor hace notar “que «irreducible» no significa ni implica «simple». Un concepto puede ser complejo, en el sentido de que su elucidación filosófica requiere que se establezcan conexiones con otros conceptos, y ser al mismo tiempo irreducible, en el sentido de que no pueda definirse, sin circularidad, en términos de aquellos otros conceptos con los que se halla necesariamente relacionado.”⁹⁰

De los tres requisitos de Strawson, el tercero (no contingentes) podría llegar a considerarse como opcional, puesto que el autor plantea que la contingencia o no de los conceptos básicos le permite establecer “dos concepciones de las estructuras conceptuales básicas, una de las cuales es más fuerte, más exigente, que la otra, puesto que requiere que sus elementos estructurales básicos sean necesarios o no contingentes.”⁹¹

Otra de las cuestiones relevantes sobre los conceptos básicos de Strawson es su procedencia, el lenguaje ordinario, o lo que califica como ‘discurso no técnico ordinario’; como cuando dice: “acabo de sugerir que el coto natural de caza de conceptos básicos —si es que existen tales cosas— era el discurso no técnico ordinario.”⁹²

En este punto se observa que existe una clara discordancia entre el origen (lenguaje ordinario) y los requisitos del concepto base de Strawson, frente al origen (discurso científico)

⁸⁸ Strawson, P. F. (1997): *Op. cit.*, p. 69.

⁸⁹ Strawson, P. F. (1997): *Op. cit.*, p. 67.

⁹⁰ Strawson, P. F. (1997): *Op. cit.*, p. 67.

⁹¹ Strawson, P. F. (1997): *Op. cit.*, p. 71.

⁹² Strawson, P. F. (1997): *Op. cit.*, p. 67.

y los requisitos de adecuación (semejanza, exactitud, fertilidad y simplicidad) del *explicatum* en el modelo de elucidación carnapiano. Una cuestión sobre la que volveré más adelante, puesto que planteará dificultades a la hora de intentar formular una propuesta armonizada de método elucidatorio.

Como se ha señalado antes, la propuesta de Strawson de un modelo de elucidación filosófica, incluyendo la relativa a los conceptos básicos, no está muy detallada. Puede que esta sea una de las razones por las que algunos aspectos de su propuesta, como la noción de concepto y de procesos, hayan merecido la observación crítica de otros autores, como Wencesalo González (2003) cuando señala la conveniencia, entre otras cuestiones, de precisar más el término ‘concepto’, su dimensión historicista, y la necesidad de encajar la noción de ‘proceso’.⁹³

Con todo, el modelo de elucidación conceptual sistemista de Strawson contiene importantes referencias metodológicas, aunque –al contrario del modelo de elucidación carnapiana desde Coffa– el autor no distingue etapas en el proceso elucidatorio. Esta postura desregulatoria, por así decirlo, puede que esté en sintonía con la solicitud expresa de Strawson a favor de una actividad filosófica más unificada: “la teoría general del ser (la ontología), la teoría general del conocimiento (la epistemología) y la teoría general de la proposición, de lo que es verdadero o falso (la lógica), no son sino tres aspectos de una investigación unificada.”⁹⁴

A partir de estos materiales de Strawson (1997), siguiendo con la práctica de apartados anteriores, he elaborado un diagrama en donde intento representar gráficamente lo que podría denominarse como método elucidatorio relacional-sistémico strawsoniano. La lectura del diagrama⁹⁵ se realiza en sentido descendente, y las flechas muestran la dirección y sentido de las diferentes acciones.

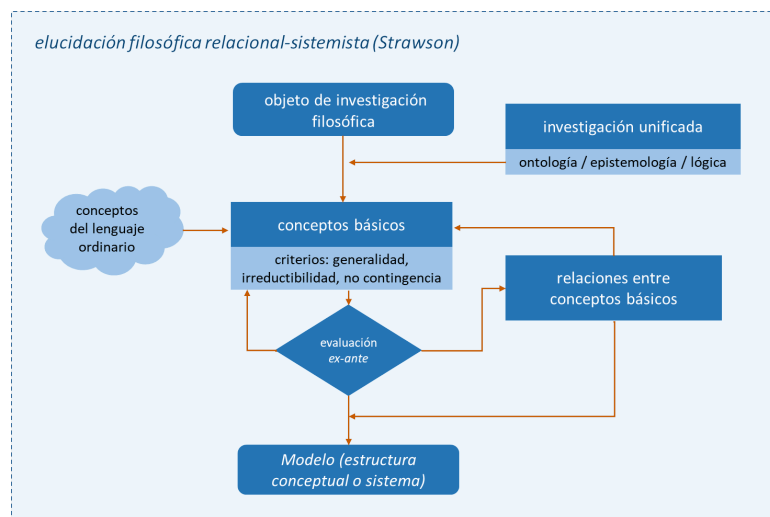


Fig. 2.1.3.a) Diagrama del método de Strawson de elucidación filosófica relacional-sistemista

⁹³ Cfr. González, Wenceslao (2003): “El empirismo moderado en Filosofía Analítica: una réplica a P.F. Strawson”, pp. 207-238, en: Falguera, Zilhao, Martínez y Sagüillo (eds.) *Palabras y pensamientos: una mirada analítica, I Jornadas Hispano-Portuguesas de Filosofía Analítica*, Santiago de Compostela, 2002.

⁹⁴ Strawson, P.F. (1997): *Op. cit.*, p. 80.

⁹⁵ *Notas sobre la simbología*: el color azul general representa una actividad de tipo epistemo-metodológica. Los rectángulos de inicio y final (simbología informática) se caracterizan por las esquinas redondeadas. La nube (simbología de Forrester) es una fuente de entradas sin límite. El rombo es un bucle de decisión. Las flechas naranjas indican la conexión, dirección y sentido de las acciones.

Además, a partir de las propuestas de Strawson, puede considerarse, teniendo presente que el análisis filosófico o elucidación debe evitar el reduccionismo atomista, que un modelo de elucidación filosófica debe tener en cuenta: (i) que la ontología, la epistemología y la lógica serían tres aspectos de una investigación unificada; (ii) que el modelo propuesto consta de unos ‘conceptos básicos’ relacionados con otros conceptos, de modo que configuran una estructura conceptual (sistémica); (iii) que los ‘conceptos básicos’ se encontrarían en el dominio del lenguaje corriente (discurso no técnico ordinario); (iv) que se define como ‘conceptos básicos’ a aquellos que cumplen los requisitos de generalidad, no descomponibilidad y (optativamente) no contingencia; (v) que los conceptos básicos son nodos de una red de relaciones con otros conceptos, que se refleja como una estructura conceptual, como un sistema; (vi) que considera como ‘estructura conceptual fuerte’ aquella en que los conceptos son no contingentes, y en caso contrario se hablaría de ‘estructura conceptual menos fuerte’; y (vii) que en todo caso es preferible que el modelo de elucidación sugiera, más que un sistema, una imagen de un conjunto de sistemas, formando un conjunto mayor.

Para finalizar con la descripción resumida del modelo de elucidación de Strawson quiero subrayar que su modelo pone de manifiesto la importancia tanto de los elementos como de las relaciones entre los mismos. De alguna manera, esta estructura conceptual tiene un sentido topológico, y puede suponerse que algún tipo de representación gráfica (como mapas conceptuales, por ejemplo) podría tener interés metodológico. Así Strawson (1997: 45) recuerda que:

El profesor Ryle, por ejemplo, solía hablar de geografía conceptual o de la elaboración de mapas o cartas conceptuales. Esta imagen tiene su mérito. Un mapa o una carta nos dan una representación de un área, una representación que en alguna medida es abstracta y que usualmente no conseguimos hacernos en nuestros habituales episodios perceptivos. Los mapas cambian de escala, muestran más o menos detalles, reflejan diferentes intereses particulares. Pueden ayudarnos a orientarnos. Con una carta de navegación exacta es menos probable que corramos el riesgo de naufragar; aunque seguramente un naufragio intelectual o conceptual es algo que puede pasarnos.

Sin embargo, como agregados conceptuales, los mapas (o cartas) conceptuales, se han considerado en ocasiones –a pesar de su utilidad– como ‘filosóficamente débiles’ derivado de la incomodidad que supone su esencia metafórica. En todo caso, y a pesar de las limitaciones que pueden presentar tanto la idea de redes conceptuales o mapas conceptuales, tengo el convencimiento de que tanto algunas técnicas –no propiamente filosóficas– de análisis de redes conceptuales, como las diferentes técnicas de representación de estructuras conceptuales y sistemas, pueden presentar un potencial apreciable de investigación filosófica.

Por esta razón, en la propuesta metodológica que haré, voy a incorporar tanto técnicas de análisis no (habitualmente) filosóficas como sistemas de representación, lo que en mi opinión estará en consonancia con la acción que sugieren las palabras ya citadas de Strawson: “imaginemos el modelo de una elaborada red, de un sistema, de elementos conectados entre sí, de conceptos; un modelo en el que la función de cada elemento, de cada concepto, sólo puede comprenderse apropiadamente desde el punto de vista filosófico captando sus relaciones con los demás, su lugar en el sistema”.⁹⁶

⁹⁶ Strawson, P.F. (1997): *Op. cit.*, p. 63.

2.2 LA INGENIERÍA COMO OBJETO DE ELUCIDACIÓN

En el apartado anterior se han expuesto distintos métodos de elucidación filosófica, y se ha hecho de forma independiente al objeto en elucidación. En este caso, la ingeniería (y más en concreto la ingeniería ambiental sanitaria) es el objeto que va a ser elucidado. Entiendo que la naturaleza del objeto a elucidar es por completo relevante a los efectos de esta exploración metodológica. El hecho de que el objeto de elucidación sea una actividad como la ingeniería (entendida dentro de la tecnología como un tipo de actividad más general) obliga a revisar previamente de qué trata esta actividad y cuáles pueden ser sus particularidades como objeto de elucidación, lo que puede servir también como una cierta familiarización con el objeto a elucidar.

Para ello se plantean tres cuestiones en los subapartados correspondientes. En primer lugar, esclarecer las relaciones entre la ingeniería y la tecnología, y el motivo por el que adopto la posición por la que se entiende la ingeniería como un tipo de tecnología. En el siguiente subapartado se quiere mostrar cómo el mundo en que la tecnología y la ingeniería se desarrollan sería un ‘mundo de sistemas’, de modo que su consideración debería hacerse conforme a lo que cabe llamar una ontología sistémica. Finalmente, expongo las consecuencias prácticas que derivan de todo lo expuesto anteriormente al fin de trazar una ruta elucidatoria (descendente) que iría desde un modelo de elucidación filosófica de tecnologías, pasando por un modelo de elucidación filosófica de ingenierías, hasta la elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria.

2.2.1 Tecnología e ingeniería como *tecnología ingenieril*

Ya he avanzado más arriba, en los antecedentes, que las relaciones entre los términos ‘técnica/tecnología’ e ‘ingeniería’ no siempre se presentan suficientemente clarificadas, con el inconveniente que ello puede suponer para abordar un área de actividad humana tan amplia como la ingeniería.

Pero antes de nada quiero hacer una breve incursión en ese binomio técnica/tecnología, para exponer los motivos por los que utilizo habitualmente la denominación de ‘tecnología’. Ya señala Quintanilla (1989: 33) que, en castellano, los términos “técnica” y “tecnología” son ambiguos; por lo que precisa que utiliza “el término ‘técnica’ en sentido genérico y distinguiremos dos grandes clases de técnicas: las técnicas artesanales o preindustriales y las técnicas industriales de base científica. Para estas últimas reservamos el término *tecnología*.”⁹⁷

En la literatura inglesa la disquisición entre técnica y tecnología no ha tenido tanta importancia, tal vez porque no se ha considerado como una cuestión esencial o porque desde un momento temprano ha dominado el término ‘technology’. No obstante, para un autor anglosajón de referencia como Mitcham (1989) las palabras técnica y tecnología tienen significados algo distintos, ya que *técnica* puede significar el “conjunto de procedimientos puestos en práctica para obtener un resultado determinado”; mientras que la *tecnología* “o el quehacer de la ciencia moderna y la utilización de artefactos, presupone las técnicas como formas primordiales de la acción humana”. Resultando de lo mismo, como afirma Mitcham, que “la filosofía de la tecnología es más general e incluye a la filosofía de la técnica”⁹⁸, justamente al contrario de lo que se considera habitualmente en castellano.

En todo caso, un autor como Bunge (1985), que puede considerarse puente entre la filosofía anglosajona y la hispanoamericana, ha procurado –al tiempo que rescata una

⁹⁷ Quintanilla, M.A. (1989): *Tecnología: Un enfoque filosófico*, Madrid: FUNDESCO. p. 33.

⁹⁸ Mitcham, C. (1989): *¿Qué es la filosofía de la tecnología?*, Barcelona: Anthropos. pp. 13-14.

precisión de Mumford— clarificar estos usos: “siguiendo a Mumford, llamaremos técnicas [*technics*] al cuerpo de conocimiento técnico precientífico, y tecnología [*technology*] al cuerpo de conocimiento técnico basado en ciencia.”⁹⁹

Volviendo al marco de relaciones, puede afirmarse que la ingeniería y la tecnología van de la mano desde el momento que el término ‘tecnológico’, como sugiere Quintanilla (2005: 57), está reservado para el tipo de técnicas que incorporan conocimientos y métodos científicos en su diseño y desarrollo. Pero también porque, entendida la tecnología en tanto sistema intencional de acciones, se exige tanto el concurso de un subconjunto de componentes materiales artificiales relacionados con los componentes naturales del medio ambiente (ecosistema), como del concurso de un subconjunto de agentes intencionales cualificados. Unos agentes de los que se espera que conciben los objetivos y acciones para conseguirlos, mediante el proceso ingenieril de: formulación del problema, diseño, modelado, construcción, operación, e innovación.

Cuando se analizan las relaciones y definiciones sobre tecnología e ingeniería, se deriva que la ingeniería podría considerarse como una clase de tecnología, y como una aplicación fundamental de la tecnología. Bien es cierto que el término tecnología tiene más presencia cuando se habla de los productos, de los artefactos tecnológicos; mientras que, al contrario, el término ingeniería destaca más el proceso que el producto. Esta inclusión de la ingeniería bajo el paraguas de la tecnología (en tanto actividad) puede confirmarse a partir de las definiciones y consideraciones sobre ‘tecnología’ de autores como Niiniluoto (1997) o Wenceslao J. González (1997).

Así, para Niiniluoto (1997) “los tecnólogos (por ej., los ingenieros, los artesanos, los diseñadores, los arquitectos) utilizan los métodos del diseño para crear nuevos artefactos o instrumentos; tales artefactos son entidades materiales o prototipos de tales entidades; normalmente los productos de la Tecnología no se formulan en el lenguaje y no tienen valores de verdad; los instrumentos tienen una finalidad específica de uso; la utilización de instrumentos abre nuevas *posibilidades* para la acción humana.”¹⁰⁰

En este sentido iría también la definición de Wenceslao J. González (1997), para quien la tecnología: “puede ser vista como el intento de *dirigir la actividad humana para el logro de un dominio creativo y transformador* de la realidad (natural o humana y social) sobre la que verse. Es un quehacer que, para transformar la realidad, cuenta con *artefactos* que han sido diseñados y elaborados al efecto, pues la Tecnología no busca primariamente el conocer y describir una realidad, sino que parte de una realidad descubierta —y, en gran parte, ya conocida— sobre la que desea actuar”¹⁰¹.

De lo anterior se deduce que puede asumirse con cierta facilidad que la ingeniería sea una forma de tecnología, remontándose así hasta las primeras propuestas de Bunge (1963: 68) cuando distingue tres tipos de tecnologías: a) tecnología física (las ingenierías), que se funda sobre la física y la química; b) tecnología biológica (la medicina...) que se funda en la biología y a su vez en la física y la química; y c) tecnología social (derecho, pedagogía...) que presupone las ciencias de la conducta¹⁰². De esta forma, para Bunge, las ingenierías serían un tipo de tecnología.

⁹⁹ Bunge, M. (1985): *Epistemology & Methodology III: Philosophy of Science & Technology, part. II*, p. 220.

¹⁰⁰ Niiniluoto, Ilkka (1997): “Ciencia frente a tecnología: ¿Diferencia o identidad?”, *Arbor*, CLVII, 620 (Agosto de 1997), pp. 285-299, p. 292-293.

¹⁰¹ González, Wenceslao J. (1997): “Progreso científico e innovación tecnológica”, *Arbor*,

¹⁰² *Cfr.* Bunge, M. (1963): “Tecnología, Ciencia y Filosofía”, *Anales de la Universidad de Chile*, Ene-Abril 1963, pp. 64-92.

En el marco de esta investigación seguiré las posiciones expuestas de Bunge (1963), Niiniluoto (1997), González (1997) y Quintanilla (2005), entre otros autores, para afirmar la ingeniería como una tecnología o actividad tecnológica. Creo que podría hablarse –como así haré en ocasiones– de ‘tecnología ingenieril’ como equivalente al término ‘ingeniería’. Esta propuesta del término ‘tecnología ingenieril’ puede mostrar con más claridad el tipo de relaciones tecnología-ingeniería, y reducir la controversia al respecto del uso de los términos ‘tecnología’ e ingeniería.

La ingeniería, como actividad también profesional, se encontraría enclavada en la clase tecnológica¹⁰³, pudiendo –con mayor precisión– hablarse de tecnología ingenieril. Utilizaré entonces, como identificador completo de la actividad ingenieril, la de ‘tecnología ingenieril’, y de una forma simplificada hablaré de ingeniería.

La actividad ingenieril, como objeto de la presente elucidación filosófica, presenta unas marcadas características ontológicas, epistemológicas y metodológicas que –a pesar de que serán tratadas con la mayor profundidad en el capítulo correspondiente– conviene que sean tenidas en cuenta a la hora de establecer las bases para un modelo de elucidación filosófica de una tecnología, que a su vez será el marco para un modelo de elucidación filosófica de una ingeniería. Estas características son: (i) una visión sistémica del mundo, concebido entonces como un ‘mundo de sistemas’; y (ii) un método tecnológico (o método ingenieril), diferenciado del método científico, en donde nos encontramos tres nociones centrales: problema, diseño y modelo.

2.2.2 Tecnología e ingeniería: la visión de un mundo de sistemas

¿Cómo se ve el mundo desde las actividades de tecnología e ingeniería? Pues se trataría fundamentalmente de una visión sistémica. Quienes se ocupan de la tecnología y de la ingeniería están, posiblemente, entre las personas que más veces se las tienen que ver con la complejidad del mundo. Una complejidad que se entiende viendo al mundo como un sistema de sistemas. Sin embargo, la tecnología y la ingeniería no se han parado demasiado a reflexionar sobre la forma de ver el mundo, sino que ha ido avanzando en sus necesidades, a través del diseño y modelización¹⁰⁴, de transformación de la realidad material del mundo.

Esta visión ingenieril, intuitiva, del mundo como sistema, tiene un relevante interés a la hora de formular unas bases para los modelos de elucidación filosófica, puesto que permite revisar las estructuras de representación del mundo que utilizan aquellos que tienen como objetivo la transformación de elementos o estados de concretas parcelas del mundo. El sentido general de la importancia del enfoque sistémico ingenieril puede quedar bien reflejado en las palabras con que el académico ruso Vitali Gorokhov termina su artículo donde reclama una nueva interpretación del progreso tecnológico: “En la actualidad y en el futuro, debemos transformar la ingeniería y la educación tecnológica, centrándonos en los sistemas y en la reflexión.”¹⁰⁵

¹⁰³ Subiendo un escalón en el orden de actividades, es aceptable considerar la ciencia y la tecnología como dos clases de acciones humanas, como subsistemas sociales, en donde el conocimiento es un elemento esencial.

¹⁰⁴ El último párrafo del libro de Javier Aracil (1986), en el apartado ‘Modelado, sistémica y tecnología intelectual’ puede considerarse como una síntesis de esta visión: “En los modelos se integra y organiza, en una adecuada estructura, la compleja percepción que se tiene de la realidad. Esta percepción trasciende a la mera medida de las partes; necesita de su integración armoniosa, para lo que el modelo es un útil insustituible. De este modo la sistémica pretende contribuir a una mejor comprensión de la realidad, tratando de captarla formalmente en toda su honda trabazón de conexiones e interdependencias.”¹⁰⁴

¹⁰⁵ Gorokhov, V. (1998): “A new interpretation of technological progress”, *Techné: Soc. for Philosophy and Technology*, vol. 4, nº 1, Fall 1998.

La visión del mundo como sistema tiene sus antecedentes acreditados, entre los que ocupa una posición privilegiada el científico Ludwig von Bertalanffy, cuyo interés por la generalización de la teoría de los sistemas le acerca a la filosofía de la ciencia y de la técnica. Friedrich Rapp, en su *Filosofía analítica de la técnica* (1978), termina el repaso de las etapas (o tradiciones) de la filosofía de la técnica, con la última, que denomina ‘El mundo como sistema’. Cuando lo hace, menciona el estudio del Club de Roma publicado en 1972 en donde se estiman mediante modelos las consecuencias para la humanidad de continuar entonces con las tendencias técnicas y económicas, considerando el crecimiento de la población, el consumo de materias primas y energía, y la contaminación ambiental. Unos modelos que, aunque no dejan de ser objeto de polémicas, tienen una gran importancia que “reside en la concepción básica que toma en cuenta la situación del mundo técnico moderno: El mundo es considerado como un *sistema* y se investiga el permanentemente acelerado aumento (exponencial) de los procesos relevantes de crecimiento.”¹⁰⁶

Esta relación de filosofía y sistemas aparecerán de forma clara en la obra de Mario Bunge en su *Treatise on Basic Philosophy*, muy especialmente en *Ontology II: A World of Systems* [1979] (2012), que podría considerarse como uno de los textos fundacionales de una filosofía contemporánea de sistemas. Pero no se trata en este apartado de trabajar sobre filosofía de sistemas (que será objeto de consideración más adelante), sino de acercarnos un poco a la visión sistémica que tienen la tecnología y la ingeniería sobre el mundo.

Entre otros posibles, considero de especial interés la caracterización de sistema que realiza Javier Aracil (1986), como ingeniero especialista en sistemas dinámicos y modelos: “para nosotros un sistema concreto –natural o artificial; hablamos de concreto como antónimo de abstracto– está formado por partes que están caracterizadas por una serie de magnitudes, a las que asociamos las variables $x_1, x_2 \dots x_n$, cada una de las cuales representa un determinado atributo, cualidad, propiedad o característica del sistema, y que además es susceptible de que se le asigne un valor numérico.”¹⁰⁷

Puede observarse que una caracterización como la de Aracil, que puede resultar adecuada a la finalidad ingenieril, no tendría un fácil encaje en el discurso filosófico. Esto puede observarse si se comparan los contenidos y estructura de esta definición, con, por ejemplo, la caracterización filosófica que hace Mario Bunge (2002) sobre sistema como: “un objeto complejo cuyas partes o componentes están ligados entre sí se llama ‘sistema’. Hay sistemas de tres tipos: materiales [compuestos exclusivamente por cosas materiales], conceptuales [compuestos exclusivamente por conceptos], y semióticos [compuestos por signos, como cosas materiales artificiales que denotan cosas o conceptos]. (...) Todo sistema puede caracterizarse por su composición, entorno, estructura (conjunto de relaciones entre sus componentes, y entre éstos y su entorno) y mecanismo, o proceso que hace que el sistema funcione como tal.”¹⁰⁸

Esto pone de manifiesto una discordancia entre la visión ingenieril del mundo como sistema, de las visiones filosóficas. Es precisamente sobre la primera visión (ingenieril), sobre la que pretendo extender unas reflexiones para intentar caracterizar el alcance y significado de esa visión ingenieril del mundo como sistema.

Continuando con Aracil (1986) se observa cómo se plantea que estos sistemas concretos puedan ser de diferentes tipos, y cómo el mundo (físico, de la química...) se conoce entendido como sistema: “estos sistemas [concretos] pueden ser tanto naturales –físicos, químicos o

¹⁰⁶ Rapp, F. (1978): *Op. cit.* (ed. 1981), p. 22-23.

¹⁰⁷ Aracil, J. (1986): *Máquinas, sistemas y modelos. Un ensayo sobre sistémica*, p. 18.

¹⁰⁸ Bunge, M. (2002): *Ser, saber, hacer*, México: Paidós/UNAM, p. 20.

biológicos— como artificiales —producto de la técnica o formas de organización social. Se incluyen en esta clase de sistemas, los del mundo físico, en especial las máquinas, en las que las variables x_i , representan magnitudes como la posición, velocidad, intensidad de una corriente eléctrica...; los del mundo de la química en donde representan, por ejemplo, las concentraciones de los productos químicos que intervienen en una reacción; los sistemas ecológicos, en donde las variables son las poblaciones de distintas especies, o los recursos disponibles; los económicos, en donde se consideran magnitudes macro o microeconómicas, como la producción, la renta o el ahorro; los que estudia la sociología, con variables como el tamaño familiar medio o el índice de escolaridad de una población; y así sucesivamente hasta incluir en esta relación un gran número de ramas del saber humano.”¹⁰⁹

La visión tecnológica e ingenieril del mundo como sistema, se ha ido conformando a partir de la necesidad que tienen estas actividades de manejar conocimientos precisos y seguros para la transformación de la realidad. Cada área de la tecnología y de la ingeniería mantiene, bajo una óptica sistémica, una particular visión del mundo. Para conocer algo sobre esa pluralidad de la visión ingenieril sistémica del mundo, quiero referirme a tres grupos de sistemas de especial interés para las tecnologías ingenieriles: (i) los sistemas técnicos de gran escala; (ii) los sistemas complejos binarios (socio-técnicos, eco-técnicos o socio-ecológicos); y (iii) los sistemas complejos ternarios (socio-tecno-ecológicos). Estos tres grupos atienden a dos cuestiones relevantes en el ámbito de la práctica tecnológica: la magnitud, no directamente relacionada con la complejidad, pero que suele ir pareja; y la complejidad en tanto variedad de ámbitos de la realidad que se combinan en los sistemas, pudiendo verse cómo la complejidad en la forma de ver los sistemas ha ido transformándose a medida que se ha ido enriqueciendo el conocimiento del medio (desde un modelo sencillo de la realidad, básicamente tecnológico, hasta los modelos más elaborados, como se observa).

(i) Sistemas técnicos de gran escala. El mundo construido es un ejemplo de la presencia de sistemas técnicos de gran escala. Se trata de infraestructuras e instalaciones cuya presencia, disposición y operación resulta esencial al proceso social y económico: redes de comunicación (telefonía, internet...), de transporte de energía (electricidad, gas, petróleo...), de abastecimiento de recursos básicos (agua...). Existe una literatura especializada en la investigación de las interrelaciones entre los sistemas técnicos de gran escala y los cambios sociales, que se ha venido realizando en los últimos años. Estos estudios se agrupan bajo la denominación de estudios de tecnología históricos¹¹⁰.

(ii) Una visión del mundo binaria: sistemas socio-técnicos o socio-ecológicos. La noción de sistemas socio-técnicos en relación con la ingeniería aparece de forma temprana en Miser (1978), en su artículo¹¹¹ sobre los sistemas sociotécnicos como la nueva frontera de la ingeniería. Para esta visión se entiende como referencia esencial de un autor de formación mixta (ingenieril y filosófica) al alemán Günter Ropohl, con su artículo seminal “Philosophy of socio-technical system” (1999)¹¹².

(iii) Un mundo de sistemas cada vez más complejos: sistemas socio-tecno-ecológicos. Como se observa, la idea inicial de sistemas sencillos, unitarios, ha ido pasando a la de sistemas más complejos, mixtos o binarios, como los socio-tecnológicos o los socio-

¹⁰⁹ Aracil, J. (1986): *Op. cit.*, p. 19.

¹¹⁰ Cfr. Vleuten, van der, E. B. A. (2006): “Understanding network societies: two decades of large technical system studies”. In Vleuten, van der, & A. Kaijser (Eds.), *Networking Europe: transnational infrastructures and the shaping of Europe, 1850-2000* (pp. 279-314). Sagamore Beach: Science History Publications.

¹¹¹ Miser, H.J. (1978): “Sociotechnical Systems: The New Engineering Frontier. A Sketch for an Engineering School Plan”, *European Journal of Eng. Ed.*, 3, 263-276.

¹¹² Ropohl, G. (1999): “Philosophy of socio-technical systems”, *Soc. for Philosophy and Technology*, vol 4, nº 3, Spring.

ecológicos. Sólo recientemente se ha comenzado a hablar de sistemas complejos ternarios, como sistemas socio-técnico-ecológicos. Este es el caso en trabajos (dentro de programas de investigación en ciencia, tecnología y sociedad) sobre los marcos regulatorios de la tecnología, donde Zwanenberg *et al.* (2011) se preguntan cómo debe entenderse el sistema socio-técnico-ecológico en tanto que los aspectos sociales, técnicos y naturales de la producción, intercambio y uso de los artefactos tecnológicos están interrelacionados. Un análisis regulatorio en donde sale a relucir la cuestión de cuáles son los actores, instituciones, redes y relaciones que interesan los sistemas técnico-ecológicos, o cuáles son las principales funciones de los sistemas socio-técnico-ecológicos, o cómo los diferentes actores pueden comprender y valorar las funciones o servicios sociales, económicos o ecológicos en particular.¹¹³

En este sentido, y cuando últimamente se están estudiando los entornos urbanos, se está empezando a hablar ya de complejos ternarios, aunque esta posición es todavía minoritaria. Así, Chris Ryan, del Instituto Melbourne Sustainable Society, concluye que los esfuerzos que se están realizando por parte de instituciones y gobiernos nacionales para buscar el consenso en actividades frente al cambio climático, donde se pone de manifiesto la importancia y compromiso de las ciudades, supone “explícita o implícitamente aceptar la idea de la ciudad como un sistema (socio-tecnológico) complejo adaptativo”¹¹⁴.

También Stephanie Pincetl, del Institute of the Environment and Sustainability de la Universidad de California (UCLA), cuando presenta su propuesta de considerar a las ciudades como nuevos biomas en el artículo “Cities as Novel Biomes: Recognizing Urban Ecosystem Services as Anthropogenic” (2015) habla de ‘cambios socio-tecnológicos’, sin referencia expresa a sistemas. Algo que puede entenderse como un paso adelantado en la dirección ternaria desde unas propuestas sistémicas binarias (socio-ecológicas) que la autora ya ha realizado previamente. Pincetl emplea la expresión ternaria (*socio-technical-ecological*) cuando está planteando que si los seres humanos eligen gestionar las ciudades teniendo en cuenta cada vez más los servicios ecosistémicos urbanos (*Urban Ecosystemic Services, UES*) se requerirá, entre otras cosas, “el cambio en las reglas y reglamentos, los objetivos y los procesos y los cambios en la forma urbana, la infraestructura y la función -cambios socio-técnico-ecológicos-impulsados por la toma de decisiones humana.”¹¹⁵

2.2.2.1 El mundo como sistema según las disciplinas ingenieriles

Una vez que se acepta la conveniencia de la comprensión del mundo intervenido por la ingeniería como un mundo sistémico, se puede derivar que el tipo de sistema puede representar mejor el mundo de las distintas disciplinas ingenieriles. Las familias disciplinares de la ingeniería son amplias, pero pueden dividirse en tres grandes tipos, de acuerdo con lo que puede llamarse su ‘materialidad’ y la relación con el medio ambiente exterior. Se encontrarían desde las ingenierías más desmaterializadas como la informática y las telecomunicaciones, en un modelo que puede acomodarse bien al binario socio-técnico. Este modelo binario puede ser suficiente incluso para ingenierías más materializadas, como la ingeniería mecánica o industrial o la aeronáutica. En cambio, para las disciplinas ingenieriles más materiales y relacionadas con el medio exterior, como son la ingeniería civil, la

¹¹³ Cfr. Zwanenberg, v. P., Ely, A. & Smith, A. (2011): *Regulating Technology: International Harmonization and Local Realities*, Oxon: Earthscan, p. 23.

¹¹⁴ Ryan, C. (2013): “Critical agendas: Designing for Sustainability from Products to Systems”, pp. 408-427, in: Walker, S. & Giard, J. (eds.) *The Handbook of Design for Sustainability*, London: Bloomsbury, p. 421.

¹¹⁵ Pincetl, S. (2015): “Cities as Novel Biomes: Recognizing Urban Ecosystem Services as Anthropogenic”, *Frontiers in Ecology and Evolution*, December 2015, vol. 3, art. 140, p. 4.

ingeniería minera, o la ingeniería ambiental, se entiende que puede conseguirse la mejor aproximación mediante el modelo ternario de sistema socio-técnico-ecológico.

Por esto, en mi opinión, la visión ternaria (socio-tecno-ecológica) como sistema complejo y adaptativo, no sólo para la ciudad sino para cualquier fragmento del territorio, en donde se contemplen de forma combinada los componentes de tipo social, tecnológico y ecológico; esto es, como sistema complejo socio-tecno-ecológico, puede ser un enfoque de gran valor y fertilidad. De hecho, el planteamiento del mundo y de la ingeniería sobre el que trabajo (ingeniería civil y ambiental sanitaria) es de este tipo: el mundo en que intervenimos como un sistema complejo adaptativo socio-tecno-ecológico, y la ingeniería como una operación en el sistema complejo por agentes intencionales del sistema (o subsistema, según se considere) tecnológico.

2.2.3 La ingeniería dentro de la familia de tecnologías: un diseño elucidatorio

El título de la presente investigación es muy expresivo. Se trata de realizar una elucidación filosófica –algunos de cuyos fundamentos se han revisado en los apartados anteriores– de una ingeniería. Así, el objeto de la elucidación filosófica será una ingeniería. Pero no una ingeniería genérica, sino el caso de la ingeniería ambiental sanitaria, una ingeniería que comparte elementos de la ingeniería civil y de la ingeniería ambiental. En todo caso, se trata sin lugar a dudas de una ingeniería concreta, operativa. Si hacemos un símil taxonómico (de tipo biológico), podríamos considerar a la ingeniería ambiental sanitaria como una ‘especie’¹¹⁶ de la ingeniería, utilizando aquí el término ‘especie’ para caracterizar a un conjunto de conocimientos y prácticas, profesionalizados, distinguibles y autónomos respecto a otras disciplinas ingenieriles.

La ingeniería, que agrupa el conjunto de las ‘especies ingenieriles’, tendría la consideración taxonómica superior de ‘género’ (nivel 2). Como se ha comentado, las ingenierías se ven, en determinadas ocasiones, como productos (artefactos) o conocimientos técnicos especializados, pero en nuestro caso –sin renunciar a estas visiones– se va a dar preferencia a una visión de la ingeniería como quehacer, como actividad humana, profesional y productiva.

A su vez, se considera que las ingenierías, como géneros, pueden agruparse en el nivel taxonómico superior, como es el de ‘familia’ de las tecnologías. Aunque el término tecnologías se utiliza habitualmente para referirse a artefactos, también como en el caso de las ingenierías, voy a dar preferencia a una visión de la tecnología como una actividad humana. La actividad tecnológica, considerada de forma amplia desde una perspectiva filosófica (*cfr.* Bunge, 1985; Quintanilla, 2005) incluiría, además de la ingeniería, otras tecnologías no ingenieriles, como por ejemplo tecnologías de base biológica (biotecnologías) o tecnologías de base social, aunque puede avanzarse que las opiniones a este respecto son muy diversas.

En todo caso, al margen de todas las formas en que pueda verse la tecnología, corresponde explicar y justificar por qué adopto la posición de que la ingeniería es una clase de tecnología (tecnología ingenieril); y en correspondencia con esto, cómo la filosofía de la ingeniería quedaría subsumida en la filosofía de la tecnología, tal y como se ha expuesto en el apartado anterior.

Al considerar que la ingeniería es un género de la familia de las actividades tecnológicas (tecnología), estoy estableciendo un orden de pertenencia, de modo que la ingeniería ambiental sanitaria (nivel 1) pertenecería a la ingeniería (nivel 2), y que la ingeniería

¹¹⁶ Se recuerda que la especie es el nivel taxonómico fundamental (nivel 1), que las especies se agrupan en géneros (nivel 2), y a su vez los géneros se agruparían en familias (nivel 3).

pertenecería a la tecnología (nivel 3). En el marco del proceso de elucidación no puede obviarse esta ordenación. El proceso gradual de elucidación que pretendo entonces ha de bajar desde el nivel 3 hasta el nivel 1. Por esta razón, aunque el objetivo final sea la elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria, para llegar a ese objetivo conviene establecer dos estadios previos (modelos elucidatorios): uno en el nivel inmediatamente anterior, en el nivel 2 (ingeniería); y otro en el nivel 3 (tecnología). He optado por comenzar a trabajar con el más global, con el nivel 3 (tecnología), a través de un modelo de elucidación filosófica de tecnologías, seguido de un modelo (más detallado y afinado) de elucidación filosófica de ingenierías.

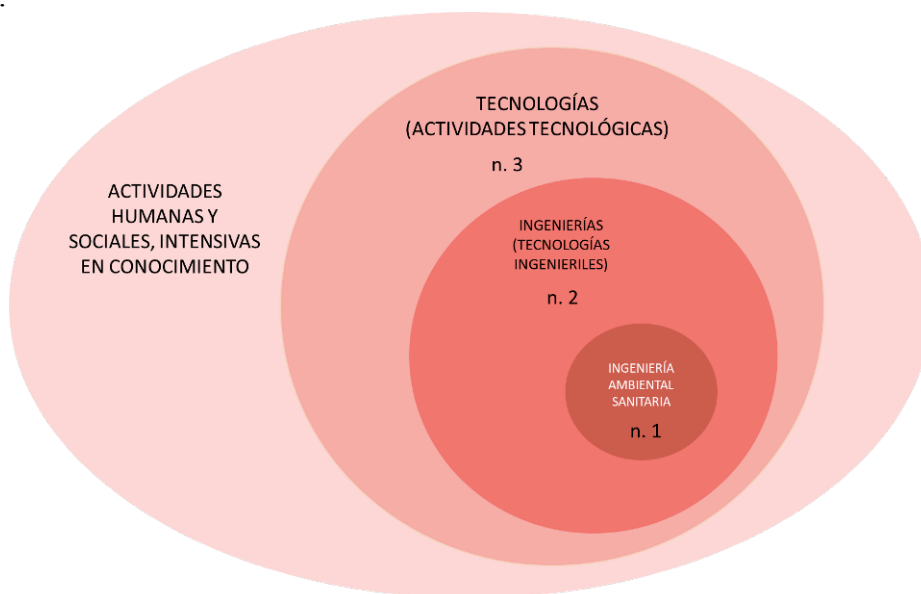


Figura 2.2.3.a) Relaciones: tecnologías > ingenierías > ingeniería ambiental sanitaria

Si el proceso general de elucidación filosófica de actividades se desarrolla en el sentido propuesto, resulta un modelo en cascada de elucidación filosófica de actividades, que es el que se va a tomar como base para los avances subsiguientes en la elucidación filosófica. Al considerar la ingeniería como una especificación de la tecnología, y al considerar también que la filosofía de la tecnología es la sede más adecuada para las investigaciones filosóficas sobre ingeniería, se está optando por una determinada estructura de investigación filosófica. Como se verá, he optado por partir del nivel de las tecnologías puesto que en los análisis disponibles de la filosofía de la tecnología se encuentran bases importantes para las consideraciones que buscamos aplicar finalmente a la ingeniería ambiental sanitaria.

No hay duda de que este modelo de elucidación filosófica de tecnologías ha de tener como punto de partida un enfoque de la filosofía de la tecnología contemporánea que sea suficientemente abierto como para dar cabida a un encaje teórico de las actividades ingenieriles, y en el que se asuma la idea de tecnología e ingeniería, en tanto conjunto de acciones (sistema de acciones), como actividades. Sin embargo, como se observará, habrá que utilizar herramientas y referirse a desarrollos no solamente de la filosofía contemporánea de la tecnología, sino también –cuanto menos– a elementos de la filosofía de la ciencia, de la filosofía práctica, así como de elementos filosóficos y metodológicos de distintas actividades tecnológicas.

Se entiende que un modelo de elucidación filosófica de tecnologías que considere a las mismas desde una perspectiva sistémica, y cuyo objetivo final sea la elucidación de una actividad ingenieril específica, como es el caso de la ingeniería sanitaria, requiere de una ruta

elucidatoria. Una ruta que, en términos de modelo y correspondiendo a la secuencia ‘tecnologías > ingenierías > ingeniería ambiental sanitaria’ puede realizarse conforme a la secuencia que se observa en el diagrama adjunto.

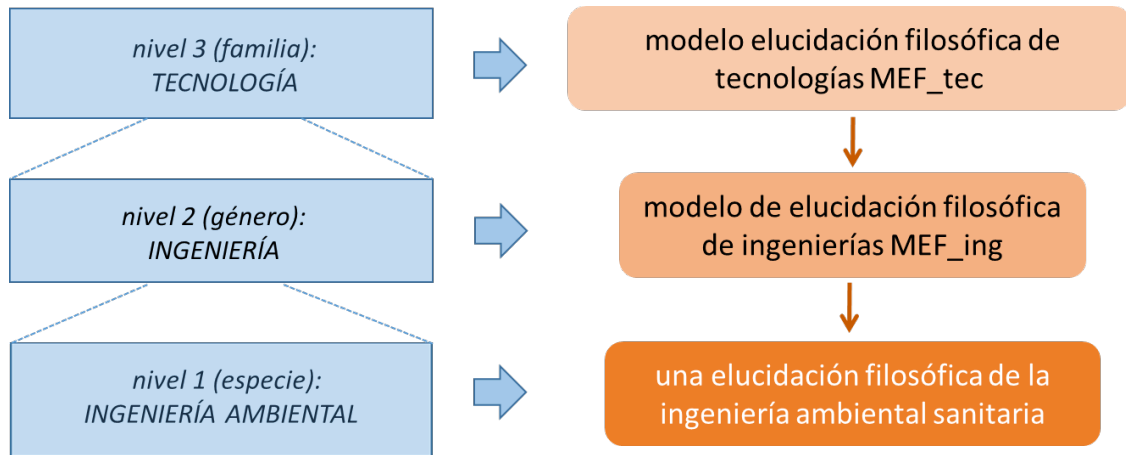


Figura 2.2.3.b) Ruta elucidatoria: serie descendente de modelos elucidatorios

En esta figura se presenta una ruta con la serie descendente tecnología > ingeniería > ingeniería ambiental, y que en paralelo parte de un modelo de elucidación filosófica de tecnologías (MEF_tec), que pasa con mayor grado de detalle y concreción a ser un modelo de elucidación filosófica de ingeniería (MEF_ing), y que será a su vez el punto de partida para una elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria.

Como puede observarse, al hablar de elucidación filosófica estoy hablando del diseño de un modelo conceptual que puede ser de tipo sistémico (en su caso, de acuerdo con las propuestas de Strawson). En este punto vuelvo a recordar que el objeto genérico de la elucidación filosófica que se pretende es una ingeniería, y que la ingeniería es un tipo de actividad que está muy relacionada con las nociones de diseño, de modelos y de sistemas. En el capítulo correspondiente en donde se elabora el modelo de elucidación filosófica de una ingeniería van a considerarse con mayor profundidad estas relevantes cuestiones. No obstante, se entiende que en este momento es pertinente avanzar, desde la actividad ingenieril, diversas consideraciones conjuntas sobre diseño, modelos y sistemas que resultan útiles para completar –junto con los modelos estudiados previamente de elucidación filosófica– un abanico de posibilidades metodológicas para una elucidación filosófica de una ingeniería¹¹⁷.

¹¹⁷ En cierto modo, podría decirse que una elucidación filosófica es un diseño de operaciones iterativas de naturaleza filosófica para la resolución de un problema planteado en el ámbito filosófico.

2.3 CONCEPTUALIZACIÓN EN MÉTODOS TECNOLÓGICOS E INGENIERILES

La tecnología y la ingeniería, en tanto actividades, disponen de métodos escrutables y justificables, conformes al objetivo genérico que tienen de transformar la realidad. El proceso de transformación siempre tiene una primera parte de naturaleza conceptual, puesto que la transformación que se opera finalmente tiene que estar precedida de un diseño y una propuesta (modelo) de transformación material (en su caso), en lo que se conoce habitualmente como fase de implantación de la solución. Esta primera parte del quehacer tecnológico o ingenieril, en donde se opera con conceptos, me parece que puede ser una notable fuente de inspiración metodológica a la hora de definir, precisamente, una elucidación filosófica de tecnologías.

Ahora bien, como aún en esta primera parte conceptual no son iguales todos los métodos tecnológicos o ingenieriles, voy a tener que hacer una revisión de los métodos bien diferenciada. En primer lugar sobre los pasos de conceptualización *ex ante* como fase inicial del método tecnológico. En el apartado siguiente procederé a estudiar lo que denomino ‘construcción conceptual’ con lo que me refiero tanto a la elaboración de modelos ingenieriles sistémicos, como a la investigación mediante marcos y mapas conceptuales. Finalmente, voy a reunir una serie de reflexiones sobre los tres elementos problema-diseño-modelo (que a su vez serían fases) de un método tecnológico o ingenieril conceptual, incluyendo una propuesta sintética de este método, que servirá para elaborar el modelo de elucidación filosófica sistemista de tecnologías.

2.3.1 Conceptualización *ex ante* en el método tecnológico

La visión (explícita o implícita) tecnológica e ingenieril del mundo como sistema condiciona el escenario de actuación ingenieril, tanto por el hecho de definir una suerte de ontología regional (que para algunos puede ser también una ontología general), como por precisar de unas determinadas propuestas epistemológicas y metodológicas. En este punto, se muestra la importancia del método tecnológico como método propio, diferenciado del método científico. El ciclo¹¹⁸ del método tecnológico, con el objetivo final de transformar un sistema, comienza con la especificación del problema, pasa por el diseño de un artefacto hasta su implementación o construcción, y termina con las pruebas y evaluación de resultados de la realización tecnológica.

Las primeras fases del método tecnológico, caracterizadas como diseño (en sentido amplio), son operaciones de naturaleza conceptual. Mientras que las siguientes fases suponen la materialización del diseño, por lo que son operaciones en gran medida materiales. Esta distinción tiene relevancia a efectos ontológicos, epistemológicos y metodológicos, como se verá en el capítulo correspondiente; pero me interesa traerla a este punto porque es aquí donde resulta oportuno estudiar las operaciones conceptuales (o ‘fases de conceptualización’ del método tecnológico) para extraer –desde la experiencia del método tecnológico– elementos que puedan sumarse a las bases del modelo de elucidación filosófica de tecnologías que va a elaborarse.

Se acepta que el método tecnológico es un método adecuado para la resolución de los problemas característicos de una tecnología. Pero no se trata de un método único, por lo que también se acepta su pluralidad. De hecho, encontraremos diversos autores que han propuesto también diferentes fases y contenidos para el método tecnológico. Sin embargo, se supone

¹¹⁸ Hablo de ‘ciclo’ del método tecnológico por cuanto el método, internamente, cuenta con diversas fases iterativas y bucles; y también porque el resultado final de una realización tecnológica puede ser objeto de evaluaciones posteriores que facilitan un proceso gradual de mejora y de cambio tecnológico.

que a pesar de las diferencias que pueden presentarse, existe un tronco común metodológico. Para dar forma a ese tronco común he seleccionado las propuestas de dos autores que considero representativos desde planteamientos complementarios: filosófico, a partir de Mario Bunge (1985)¹¹⁹; e ingenieril sistémico, a partir de Douglas Lewin (1983).

Para Bunge (1985: 232), la metodología de una tecnología “consiste exclusivamente en procedimientos escrutables (verificables, analizables, criticables) y justificables (explicables), en particular: (...) ¹²⁰ el método tecnológico (problema cognitivo-diseño-prototipo-prueba-corrección del diseño o reformulación del problema).” Un poco más adelante (Bunge, 1985: 236) amplía un poco más los contenidos del método tecnológico que “puede caracterizarse como la siguiente secuencia: Reconocimiento y formulación de un problema práctico - Diseño de cosa, estado o proceso que pueda resolver el problema hasta cierto punto de aproximación - Construcción de un modelo a escala y un prototipo (máquina, grupo experimental, programa social a pequeña escala, o lo que sea en su caso) - Prueba - Evaluación - Revisión del diseño, prueba o problema.”

El método tecnológico que propone Bunge supone cinco fases (problema-diseño-modelo-prueba-evaluación) seguidas de una final opcional (revisión) que tendría lugar en caso de que la evaluación no fuera positiva. La primera de las fases, la del problema cognitivo (i), puede subdividirse en el reconocimiento (i.1) de un problema práctico, y en la formulación (i.2) de ese problema reconocido. A continuación se presenta la fase de diseño (ii), que se aplicará para cosa, estado o proceso que pueda resolver el problema y, siguiendo con el autor, hasta cierto punto de aproximación. De este modo, a pesar de la aparente sencillez –puesto que no se identifican subfases– se responsabiliza a esta fase (que se muestra semejante a un modelo de caja negra) de la resolución del problema tecnológico; si bien ese “cierto punto de aproximación” sugiere que el método es iterativo y que habrá fases subsiguientes que promuevan una mayor aproximación. Tanto la fase (i) de problema, como la (ii) de diseño serían netamente conceptuales.

La tercera fase alude a la construcción de un modelo (iii), que puede entenderse como una representación de modificación de la realidad o, más precisamente de la propuesta (formalizable o formalizada) de transformación de la cosa, estado o proceso. Se entiende que esta construcción tendría una parte conceptual (basada en conocimiento representacional) como modelo conceptual, que enlazaría finalmente con un modelo concreto. De ahí que entienda que esta fase (iii) tendría una dimensión conceptual y otra material derivada.

La fase subsiguiente, de prueba (iv) no está detallada, pero puede entenderse que se trata de la fase de materialización, de la transformación de la cosa, estado o proceso que pueda finalmente resolver el problema tecnológico identificado.

A continuación, se presenta la fase de evaluación (v), en donde se valoraría el grado de adecuación de la solución tecnológica en relación con las especificaciones del problema original. Puede suponerse que para el caso de una evaluación favorable o positiva, esta fase se convertiría en la fase final. Sin embargo, se atiende a la posibilidad de que esta evaluación no sea favorable.

¹¹⁹ Bunge, M. (1985): *Part II: Life Science, Social Science and Technology, Epistemology & Methodology III: Philosophy of Science and Technology*, Treatise on Basic Philosophy. Volume 7, Dordrecht/Boston/Lancaster: D. Reidel Pub. Co.

¹²⁰ En su exposición, Bunge (1985: 232) considera dentro de la metodología de una tecnología T, “en particular: el método científico (problema cognitivo-verificación de hipótesis-corrección final de la hipótesis o reformulación del problema) y el método tecnológico (...)”. En este apartado, para facilitar la exposición, me limito a citar lo relativo al método tecnológico. Sin embargo, más adelante, en el capítulo correspondiente (modelo de elucidación filosófica de una tecnología), al componer el campo epistemológico y metodológico, se tendrá en cuenta –siguiendo a Bunge– que la metodología de una tecnología contiene tanto al método específicamente tecnológico como al método científico.

En el caso de que la evaluación de la solución tecnológica no fuera favorable, el método tecnológico identificado por el autor sugiere la revisión, con tres rutas que, de acuerdo con la lógica del método podrían ser en orden inverso a las fases. Así, la primera revisión se haría sobre la prueba (iv), la siguiente sobre el diseño (ii) y la última sobre el problema (i).

En mi opinión, el método tecnológico propuesto por Bunge (1985) es singularmente valioso por cuanto es un método aplicable al más amplio rango de tecnologías (y no solamente a las tecnologías ingenieriles), que es el sentido amplio en que estoy considerando las tecnologías. Por ello, puede considerarse como uno de los métodos de referencia para elaborar un método de investigación (como técnica) filosófica, como de hecho estoy haciendo. También, por sus características, permite ayudar a establecer unas fases generales de método tecnológico (problema-diseño-modelo-implementación-evaluación), de entre las que se puede identificar el segmento inicial (problema-diseño-modelo) como característico de una técnica de investigación conceptual.

Para Douglas Lewin¹²¹, de formación ingenieril, la aproximación sistémica de la ingeniería es básicamente una manera de apoyar la búsqueda de soluciones a problemas de tipo ingenieril, para lo que distingue cuatro pasos: (i) especificación del problema, hasta el mayor grado de detalle de acuerdo a la necesidades y criterios para su resolución efectiva; (ii) estadio de síntesis, de tipo creativo y en donde se aproxima una solución para el problema ingenieril, pero remarcando que no hay una solución única¹²² para el problema ingenieril, sino que depende de criterios y decisiones, hasta el punto de que la ingeniería puede considerarse esencialmente como un proceso de toma de decisiones; (iii) estadio de análisis, en que para evaluar el diseño propuesto se elabora un modelo de modo que pueda analizarse la respuesta del modelo para confirmar si satisface las especificaciones originales; y (iv) estadio de implementación, en donde se examinan detalladamente el alcance y consecuencias de la implementación.

Asimismo, el autor señala dos importantes características del proceso de diseño ingenieril: es iterativo, de modo que puede darse una retroalimentación tanto en cualquiera de los estadios como en el conjunto del proceso; la aproximación sistémica lleva de forma natural a un tipo de diseño ‘de arriba a abajo’ (*cfr.* Lewin, 1983: 129-130).

Como se observa, las fases iniciales tanto de Bunge como de Lewin, son eminentemente conceptuales, son las que conducen a la elaboración del modelo, y por tanto las que más nos interesan ahora.

En este punto, a partir de las propuestas de Bunge (1985) y Lewin (1983), se puede establecer una suerte de correlación de fases. Las tres primeras, que son las que más importan en este punto, son de carácter conceptual y tienen como objetivo intermedio (puesto que el objetivo final será la transformación del sistema) la elaboración de un modelo. Bien es cierto que también el proceso de evaluación posterior a la implementación de la solución tecnológica tiene una importante dimensión conceptual, pero voy a dejar estas cuestiones para los capítulos en donde se presenta el modelo de tecnologías ingenieriles.

¹²¹ Lewin, Douglas (1983): “Engineering Philosophy: The Third Culture?”, *Leonardo*, Vol. 16, No. 2 (Spring), pp. 127-132.

¹²² Para Bunge (2004: 256): “La mayoría de los problemas pueden clasificarse en directos o inversos. (...) La investigación de un problema directo procede corriente abajo, desde las premisas a las conclusiones o de las causas a los efectos. En cambio, la resolución de un problema inverso involucra la inversión de la corriente lógica o causal. Una peculiaridad de los problemas inversos es que, si son solubles, poseen múltiples soluciones.” Por lo general, las actividades tecnológicas se enfrentan a problemas inversos puesto que no son —a diferencia de los problemas científicos— de una solución única, sino que puede haber diferentes enfoques y por tanto diferentes soluciones.

Mientras tanto, voy a centrarme en los tres pasos o fases que resultan relevantes en la esfera conceptual, previa a la transformación¹²³: problema-diseño-modelo. Aquí conviene señalar que cuando en este apartado hablo de diseño lo hago en relación con una fase, de esta serie de tres, mientras que en otros lugares –y de alguna forma en la mayoría de los autores, como se verá– se habla de ‘diseño’ para referirse a todos los procesos de conceptualización *ex ante* del método tecnológico¹²⁴, así que cuando hable de este sentido amplio haré la mención de diseño en sentido amplio. Hecha esta observación, planteo las tres fases que pueden caracterizar a las operaciones conceptuales *ex ante* del método tecnológico:

- (i) Problema: reconocimiento y formulación de un problema práctico, con atención a la necesidad de realizar una detallada especificación del problema. En nuestro caso, se trataría (en última instancia) de la actividad de la ingeniería ambiental sanitaria. En este punto se advierte que una característica destacable de los problemas tecnológicos es el poder considerarse como problemas de tipo inverso.
- (ii) Diseño: proceso iterativo que pueda resolver el problema hasta cierto punto de aproximación, combinando procesos creativos de generación de alternativas, con selección progresiva entre alternativas. En este proceso de diseño, o aproximación mediante alternativas, se están combinando elementos que llevan tanto a la propuesta (sintética) de una estructura marco como a la determinación (más analítica) de determinados componentes concretos o abstractos.
- (iii) Modelo: elaboración de un modelo, o modelos de acuerdo con los niveles de progresión del diseño, desde un modelo general (tecnologías), pasando por uno de mayor detalle (ingenierías). En tanto modelo conceptual, la operación combinaría procesos de conceptualización y de formalización¹²⁵.

2.3.2 Construcción conceptual: modelos de sistemas y marcos conceptuales

Acabamos de ver cómo la parte preoperativa (conceptual) del método tecnológico es una serie de tres fases características: problema-diseño-modelo. Pero no puede olvidarse que con esas tres fases se está hablando sólo de una parte del método tecnológico, puesto que el método en sí (por lo general) no tiene por objeto la elaboración de un modelo, sino que el modelo sirve como una fase intermedia, hacia el objetivo final del método tecnológico, como es la transformación material (artefactual) de un estado de cosas para obtener un resultado valioso. Por tanto, las tres fases de la parte preoperacional del método tecnológico tienen interés a efectos metodológicos, pero siempre y cuando se observe que son solamente una parte del método tecnológico.

Hecha esta observación, vamos a ver en este apartado dos métodos específicos en los que el resultado final que persigue la tecnología o la ingeniería es una operación de tipo conceptual, razón por la que en el título hablo de ‘construcción conceptual’. Entonces, vamos a ver cómo académicos de ramas de la tecnología y de la ingeniería plantean sus métodos para construir modelos de sistemas o marcos conceptuales. Entiendo que al estudiar estos métodos

¹²³ Se podría hablar entonces de tres grupos en las fases del método tecnológico: (i) fases de conceptualización *ex ante*, previa a la transformación, que concluiría en un modelo conceptual; (ii) fase de implementación, de carácter básicamente material; y (iii) fases de conceptualización *ex post*, o de evaluación y, eventualmente, iteraciones con las anteriores.

¹²⁴ Esta noción extendida del diseño puede verse en Peter Kroes (2009: 114) “el proceso general de diseño puede dividirse en varias fases o pasos que corresponden a aspectos distinguibles para resolver un problema de diseño. En la metodología de diseño, a menudo se toma la tríada ‘análisis-síntesis-evaluación’ como punto de partida para modelizar el proceso de diseño”. Véase Kroes, Peter (2009): “Engineering Design”, in Kyrrén Olsen (ed.) *A Companion to the Philosophy of Technology*.

¹²⁵ Veremos en el apartado siguiente cómo los autores Aracil y Gordillo (1998), sostienen que las fases de elaboración de un modelo pasan por una conceptualización, primero, y una formalización, después.

tecnológicos (conceptuales) se puede mejorar el diseño (del proceso y representación) del modelo de elucidación filosófica para tecnologías ingenieriles.

Hay que aclarar que se trata de dos instrumentos distintos que sirven también a dos objetivos distintos. Veremos en primer lugar (Aracil y Gordillo, 1997) un método (cualitativo y cuantitativo) que tiene como preciso objeto elaborar modelos de sistemas ingenieriles. En segundo lugar, vamos a estudiar un nuevo método (cualitativo) de elaboración de marcos conceptuales propuesto desde el campo de la técnica por Jabareen (2008, 2009). Finalmente, a partir tanto del método de elaboración de modelos de sistemas como del de elaboración de marcos conceptuales, incluyendo sus formas de representación, voy a intentar extraer una serie de lecciones de valor metodológico para el resultado final de las bases para la elucidación filosófica.

2.3.2.1 Método para elaboración de modelos de sistemas: Aracil y Gordillo (1997)

En Aracil y Gordillo (1997), las fases que presentan son las de construcción de un modelo, por la que se ajustan bien a lo que aquí se persigue, que no es otra cosa que una referencia metodológica sobre cómo se elaboran modelos en la actividad tecnológica o ingenieril. Estas tres fases principales serían: “conceptualización, que consiste en la adopción de una perspectiva y en el esbozo de una comprensión de un cierto fenómeno del mundo real; formulación del modelo, que trata de la representación de los elementos intuitivos elaborados en la fase de conceptualización por medio de un lenguaje formal; evaluación del modelo, consistente en un análisis del mismo, así como su sometimiento a varios criterios de aceptabilidad.”¹²⁶

En definitiva, Aracil y Gordillo (1997: 108) consideran de forma general que el desarrollo de un modelo respondería a tres fases principales: conceptualización (desde el ‘mundo real’ al modelo mental), formulación del modelo (del modelo mental al modelo formal) y evaluación del modelo. Algo que puede observarse en la figura elaborada por los autores, en donde aparece a la izquierda una columna que representa el paso del ‘mundo real’ hasta el ‘modelo formal’, coincidiendo las transiciones con las fases, y la mitad derecha en donde “se indica el carácter iterativo de la construcción del modelo, en virtud del cual no se pasa de una forma progresiva y única por las tres fases indicadas, sino que se puede ir de una fase a otra, sin ningún orden especial, cuantas veces sea necesario.”

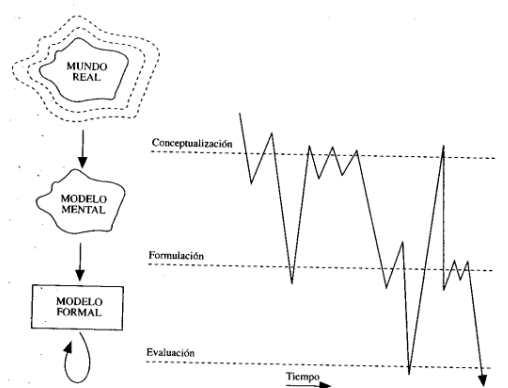


Fig. 2.3.2.a) Carácter iterativo de las fases de construcción de un modelo (en Aracil y Gordillo, 1997: 108)

¹²⁶ Aracil y Gordillo (1997): *Sistemas dinámicos*, p. 108.

Al leer la descripción del método en tres fases, y su representación, podría dar la impresión de que nos encontramos ante un método elemental, en tres tiempos (conceptualización-formalización-evaluación). No obstante, cuando se estudia el detalle de las tres fases que aportan los autores se perciben unas pautas metodológicas más claras y lógicas. Esto tal vez sea debido a que da la impresión de que las fases marcan un ritmo al método, por así decirlo, y que resulta más adecuado suavizar las transiciones y dar una mayor continuidad al método.

A continuación, obviando entonces la división de las tres grandes fases, voy a reflejar los distintos pasos (acciones) que sugieren Aracil y Gordillo (1997: 109) para construir un modelo: 1) “familiarización con el problema [sistema] que se va a estudiar, que incluye el tratamiento de la literatura al respecto, opiniones de expertos, experiencias propias”; 2) “definir con precisión los aspectos del problema que se quiere resolver y describirlos en forma precisa y clara. (...) llegar al máximo de concesión, claridad y precisión”; 3) “particularizar el comportamiento dinámico relevante del sistema bajo estudio” (...) “a partir del conocimiento previo sobre estructuras simples de comportamiento de sistemas dinámicos”; 4) “[particularizar] la estructura más simple que pueda generar este comportamiento”; 5) identificar “los distintos elementos que formarán el sistema”; 6) “establecimiento de los límites del sistema”; 7) “descripción primaria de los bucles de realimentación”; 8) “surge [se construye] así el diagrama de influencias¹²⁷ del sistema”; 9) “formulación [del diagrama de influencias] con ayuda de un lenguaje formal preciso. (...) en primer lugar en el establecimiento del diagrama de Forrester¹²⁸”; 10) “se escriben las ecuaciones del modelo [a partir del digrama de Forrester] en lenguaje que permita su formulación informática”; 11) “asignar [en fase de formulación] valores a los parámetros que intervienen en el modelo.”; 12) “una vez construido el modelo [en forma de ecuaciones programadas en un computador], se procede a ensayar, por medio de simulaciones, las hipótesis sobre las que se ha construido, así como la consistencia de las mismas; 13) “análisis de sensibilidad del modelo”¹²⁹; 14) “se procede [si satisface los análisis de consistencia y sensibilidad] a estudiar el comportamiento del modelo ante distintas políticas alternativas”; y 15) “elaborar unas recomendaciones respecto a la actuación futura sobre la realidad”.

Como se ha señalado, además de los aspectos metodológicos de esta propuesta, se entiende que interesan las cuestiones relativas a la representación gráfica de los ‘productos’ que se proponen, en particular de los diagramas de influencias, y de los diagramas de Forrester, donde se observa un proceso de cambio entre los primeros, como representaciones menos formalizadas, y los segundos, como representaciones más formalizadas.

En cierto modo (véase figura), el diagrama de influencias sería una representación cercana al ‘modelo mental’, mientras que el diagrama de Forrester representa ya un ‘modelo formal’. Para aclarar un poco las diferencias entre estos dos modos de representación, incluyo a continuación ejemplos de estos diagrama en donde se observa las diferencias estructurales y simbólicas entre ambos.

¹²⁷ “Los diagramas de influencias son representaciones que ayudan a las personas a externalizar y enriquecer sus modelos mentales, a resumir grandes cantidades de texto, orientar una discusión, explicar el comportamiento de los sistemas a partir de estructuras cíclicas, ampliar el contexto de abordaje de un problema, y como paso intermedio entre el lenguaje natural y el lenguaje matemático.” Jaime, R. & Lizcano, A. (2015): “Trabajo colaborativo mediado por TIC en el aprendizaje de dinámica de sistemas” DYNA, vol. 82, nº 189 (2015).

¹²⁸ El diagrama de Forrester es un tipo de diagrama para representación más formalizada de sistemas dinámicos, de acuerdo con unos elementos de representación establecidos por Forrester.

¹²⁹ “En virtud del cual se estudia la dependencia de las conclusiones que se extraen del modelo, con relación a posibles variaciones que sufran los valores de los parámetros que aparecen en él.” (Aracil y Gordillo, 1997: 109).

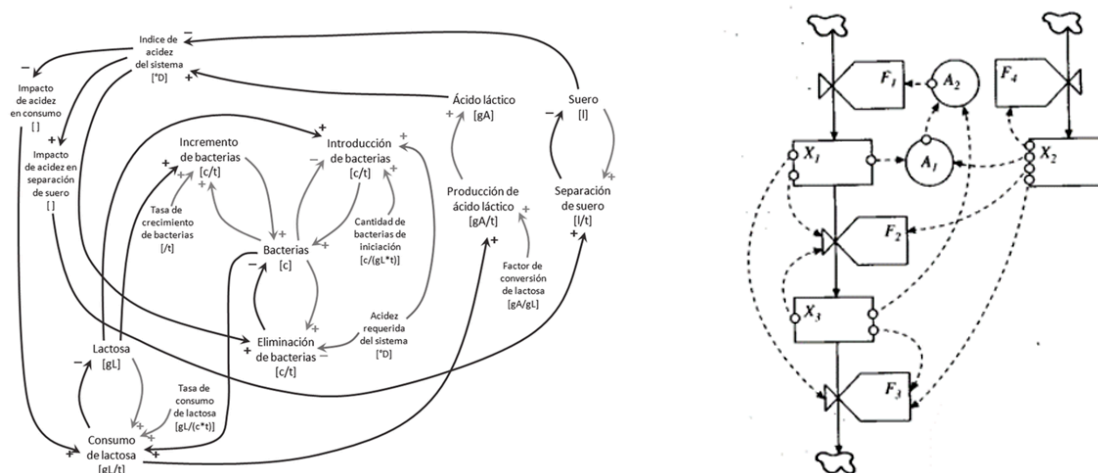


Fig. 2.3.2.b) Ej. diagramas: de influencias (izda) (Jaime, 2015), de Forrester (dcha) (Aracil y G., 1997: 66)

2.3.2.2 Método de elaboración de marcos conceptuales: Jabareen (2008, 2009).

Dentro de esta revisión de metodología de base técnica para la elaboración de marcos conceptuales he seleccionado dos trabajos del mismo autor, Yosef Jabareen, en donde presenta, discute y aplica su propuesta de método de elaboración de marcos conceptuales. Es un método por completo de tipo cualitativo, por el que se pretende la elaboración de marcos conceptuales, entendidos como “una red o ‘un plano’ de conceptos interrelacionados que de forma conjunta proporcionan una comprensión integral de un fenómeno o de fenómenos. Los conceptos que constituyen un marco conceptual se apoyan mutuamente, articulan sus fenómenos respectivos, y establecen una filosofía marco-específica. Los marcos conceptuales poseen supuestos ontológicos, epistemológicos y metodológicos, y cada concepto dentro de un marco conceptual desempeña un papel ontológico o epistemológico.”¹³⁰

De este trabajo, lo que en este punto me parece más interesante es su propuesta metodológica de análisis de marcos conceptuales, por lo que recojo aquí las ocho fases propuestas por Jabareen (2009: 53-55), que responden a las acciones de: 1) mapeo de la documentación seleccionada; 2) lectura extensiva y categorización de los datos seleccionados; 3) identificación y denominación de conceptos; 4) deconstrucción y categorización de los conceptos; 5) integración de los conceptos; 6) síntesis, resíntesis y darle sentido al conjunto; 7) validación del mapa conceptual; 8) repensamiento del marco conceptual.

Es notable que el avance metodológico que hace Jabareen incluye, además de unas interesantes precisiones terminológicas sobre conceptos y marcos conceptuales, una categorización filosófica de los conceptos (como componentes) que forman el marco conceptual, según su carácter, clasificando (en la fase 4) como: conceptos ontológicos, conceptos epistemológicos y conceptos metodológicos. Una clasificación de este tipo tiene un cierto carácter metodológico puente entre lo que sería un proceso técnico de construcción de un modelo conceptual, y un proceso de investigación filosófica (conceptual) de tipo analítico.

La metodología de análisis de marcos conceptuales de Jabareen es de carácter cualitativo, pero escasamente estructurada. De hecho, los productos que se obtienen como resultado de aplicar el método propuesto se presentan, de forma combinada, en formato tabla y

¹³⁰ Jabareen, Yosef (2009): “Building a Conceptual Framework: Philosophy, Definitions, and Procedure”, *International Journal of Qualitative Methods*, 2009, 8 (4), p. 51.

representación muy esquemática. En la figura adjunta se muestra un ejemplo de este esquema de representación (tabla y esquema), empleado por el autor en el análisis del marco conceptual del desarrollo sostenible.

Table 1. Conceptual framework of sustainable development and selected sources of data

The Concept	Inquiry Character	Selected Sources of Data
Ethical paradox	Ontological concept	Philosophy and ethics
Natural capital stock	Epistemological concept	Ecology, environmental studies
Eco-form	Methodological concept	Design, architecture, planning, and urban studies
Utopianism	Methodological concept	Literature
Global political agenda	Methodological concept	Civil society, political sciences
Integrative management	Methodological concept	Management and urban planning studies
Equity	Methodological concept	Ecology, environmental studies, ethnic studies, and feminist and gender studies

Figure 1. The conceptual framework of sustainable development

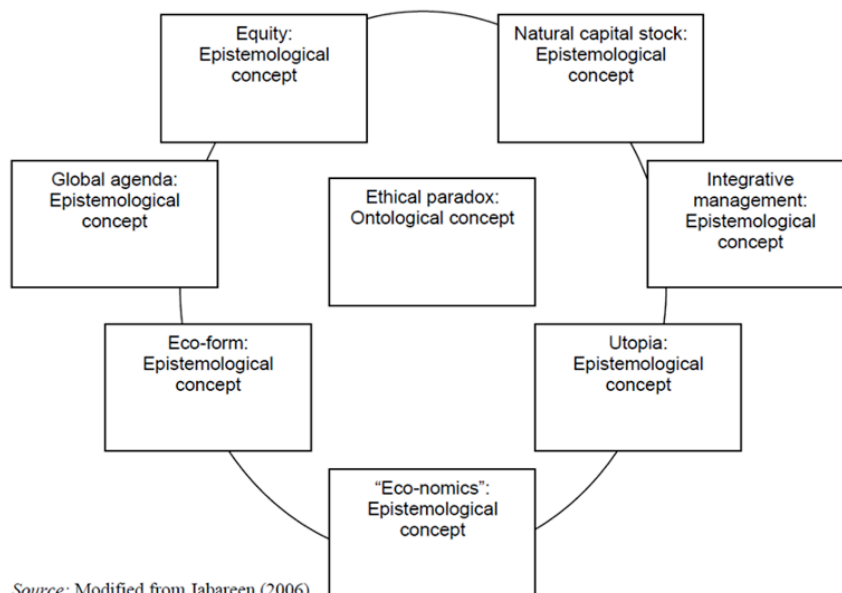


Fig. 2.3.2.c) Representación tabular (sup.) y esquemática (inf.) de marco conceptual del desarrollo sostenible (en Jabareen, 2009: 57-58)

Se puede observar cómo las características topológicas que definen los componentes y relaciones, a través de una red o una cartografía conceptual, tienen un potencial expresivo (y reflexivo) que, en mi opinión, no convendría dejar de lado, puesto que entiendo que la representación gráfica puede favorecer el discurso del proceso elucidatorio.

Sirve como sencillo ejemplo el caso del estudio que hace Jabareen (2008, 2009) sobre una materia de tanto interés como la noción de desarrollo sostenible. En Jabareen (2008) se pone de manifiesto, a partir de una revisión crítica de la literatura multidisciplinar sobre desarrollo sostenible, que las definiciones del concepto siguen siendo vagas, que faltan definiciones operativas y que no hay acuerdo siquiera sobre lo que debe ser sostenido. Esto demuestra la falta de un marco teórico para la comprensión del desarrollo sostenible, y de su complejidad conceptual intrínseca.

Jabareen, en su artículo “A new conceptual framework for sustainable development” (2008) sintetiza la literatura multidisciplinar para, mediante una metodología de análisis

conceptual, proceder a identificar patrones y categorías que le permiten elaborar siete conceptos relevantes para el significado de ‘desarrollo sostenible’: paradoja ética, stock de capital natural, equidad, eco-forma, gestión integradora, utopismo, y agenda política global.

Estos siete conceptos, que son ampliamente considerados, se relacionan por Jarabeen articulando un nuevo marco conceptual para el desarrollo sostenible, en un proceso que puede considerarse –al menos parcialmente– como una elucidación filosófica. Pero quiero incidir, y de ahí traer a este punto la representación gráfica, en cómo el autor acompaña la descripción del marco conceptual de una representación gráfica, otorgando a la misma un valor propio, que muestra aspectos que, probablemente no pueden mostrarse con la mera descripción literaria.

2.3.3 Un método conceptual tecnológico ingenieril: problema-diseño-modelo

Las tres fases presentadas (problema-diseño-modelo) coinciden prácticamente con las tres primeras fases que proponen tanto Bunge como Lewin, aunque en su desarrollo más detallado se tienen en cuenta las aportaciones tanto de Aracil y Gordillo como de Jabareen. Por este motivo, primero voy a revisar desde la perspectiva tecnológica ingenieril, los aspectos más interesantes y singulares de estas tres fases (problema, diseño y modelo). Al terminar el apartado incluyo una propuesta de fases y subfases para lo que podría llamarse un método conceptual tecnológico ingenieril.

2.3.3.1 Problemas inversos en tecnologías ingenieriles

De acuerdo con Aracil (1999: 39), el propósito del ingeniero es resolver tal o cual problema concreto, de modo que su propósito es resolver el problema mediante algún artefacto que sirva para esto. De esta manera “su objetivo es que aquello que se concibe y realiza sirva a los propósitos que lo han originado. (...) En el caso concreto que tiene entre manos no puede prescindir de nada, no puede aislarse en un laboratorio y ocuparse exclusivamente de aquellos aspectos generales que son interesantes para el científico. Antes bien, ha de concentrarse en el problema específico que tiene que resolver y, al hacerlo, tiene que tener en cuenta todos los aspectos de la escurridiza e inasible realidad. Y, además, tiene que asumir riesgos.”¹³¹

Desde el primer momento tenemos que poner de manifiesto que el problema tecnológico o ingenieril no es un problema directo, de una solución única, como puede ocurrir en algunas disciplinas científicas, como las matemáticas o la física. Así, resulta importante plantear una disquisición que hace Bunge, y de la que afirma que es un tema relevante aunque poco tratado en filosofía¹³², sobre dos tipos de problemas: directos e inversos. Para Bunge (2004: 256): “La mayoría de los problemas pueden clasificarse en directos o inversos. (...) La investigación de un problema directo procede corriente abajo, desde las premisas a las conclusiones o de las causas a los efectos. En cambio, la resolución de un problema inverso involucra la inversión de la corriente lógica o causal. Una peculiaridad de los problemas inversos es que, si son solubles, poseen múltiples soluciones.” Por lo general, las actividades tecnológicas se enfrentan a problemas inversos: sirvan como ejemplos algunos de los que se recogen en la tabla.

¹³¹ Aracil, J. (1999) ¿Es menester que los ingenieros filosofen?, *Argumentos de Razón Técnica*, p. 40

¹³² Para más detalle, siguiendo a Bunge (2004: 257): “Por desgracia, los filósofos han permanecido notoriamente silenciosos acerca del tema de los problemas inversos y, por cierto, respecto a los problemas en general.”

Tabla 2.3.3.a) Muestra de problemas directos e inversos (la flecha muestra el flujo de la investigación, desde el problema a la solución) (a partir de Bunge, 2004: 257)

Directos o hacia delante	Inversos o hacia atrás
Enfermedad → síntomas	Síntomas → enfermedad
Ecuación de movimiento → trayectoria	Trayectoria → ecuación de movimiento
Legislación → comportamiento social	Comportamiento social → legislación
Cronograma de fabricación → producción	Producción → cronograma de fabricación
Transacción → presupuesto	Presupuesto → transacción

En este punto quisiera sugerir, a los efectos metodológicos correspondientes, el interés de una noción que no se suele utilizar en los procesos de diseño, como es la familiarización (ver en Aracil y Gordillo, 1997) con las nociones y temas que se están tratando. Sin duda, esta es una noción difusa, pero a mi entender de una notable importancia en el desarrollo de los procesos de diseño y como en este caso, de elucidación misma.

2.3.3.2 Diseño en tecnología e ingeniería

El diseño ha llegado a ser considerado, técnica y filosóficamente, como la pieza central y fundamental de la ingeniería (Simon, 1996; Bucciarelli, 2003; Vermaas *et al.*, 2008; Turnbull, 2010). De hecho, el diseño tiene tradicionalmente un papel esencial en la configuración y descripción de la actividad ingenieril, como puede observarse en referencias tales como: *Design Engineering*¹³³ de Dixon (1966), *Designing Engineers*¹³⁴ de Bucciarelli, o *Engineering Design: A Systematic Approach*¹³⁵ de Pahl y Beitz (1996).

En el capítulo “The Science of Design: Creating the Artificial”¹³⁶ Simon (1996: 111-138) comienza planteando que las escuelas de ingeniería tienen la misión de enseñar sobre las cosas artificiales, sobre cómo se hace que los artefactos tengan las propiedades deseadas y cómo diseñarlos¹³⁷. Pero, para Simon, los ingenieros no son los únicos profesionales del diseño, sino que también es una actividad propia de aquellas profesiones que intentan cambiar las situaciones existentes por otras preferibles: “el diseño, así entendido, sería el núcleo de todo entrenamiento profesional; es la principal marca que distingue las profesiones de las ciencias. Las escuelas de ingeniería, así como las escuelas de arquitectura, de negocios, de educación, de derecho y de medicina, estarían implicadas directamente con el proceso de diseño” (Simon, 1996: 111).

La noción y práctica del diseño continúa teniendo una importante presencia también en los textos de filosofía ingenieril elaborados por ingenieros a principios del siglo XXI. El diseño ingenieril no sólo comprende un proceso (incrementalmente más complejo) sino también un modo de ver el mundo y un lenguaje capaz de aproximar las soluciones ingenieriles como transformaciones del medio. Puede verse en este sentido “Object and Social Artifact in Engineering Design”¹³⁸ (Bucciarelli, 2000) y, especialmente el capítulo 2 “Designing, like language, is a social process” del libro referencial *Engineering Philosophy* de Bucciarelli (2003).

¹³³ Dixon, J. (1966): *Design Engineering*, New York: McGraw-Hill.

¹³⁴ Bucciarelli, L.L. (1994): *Designing Engineers*, Cambridge, MA.: MIT Press.

¹³⁵ Pahl, G. & Beitz, W. (1996): *Engineering Design: A Systematic Approach*, 2nd ed., Springer 1996.

¹³⁶ Simon, H.A. (1996): *The Science of the Artificial*, Cam., Mass.: MIT Press, pp. 111-138.

¹³⁷ Este capítulo de Simon (1996) contiene importantes desarrollos sobre: lógica del diseño (alternativas fijas); cálculo del óptimo; búsqueda de acciones satisfactorias; lógica del diseño (obtención de alternativas); análisis de medios-fines; lógica de indagación; diseño como asignación de recursos; (un ejemplo de diseño de autopistas); esquemas para guía de la indagación; la forma del diseño: jerarquía; ciclo del generador de pruebas; y el proceso como determinante del estilo.

¹³⁸ Bucciarelli, L.L. (2000): “Object and Social Artifact in Engineering Design”, en: *The Empirical Turn in the Philosophy of Technology*, Kroes, P. & Meijers, A., (eds). Elsevier Science, 2000.

Este es un momento adecuado para poner de manifiesto, de nuevo, que el lenguaje diagramático y otras formas de representación no literarias son elementos esenciales para los procesos conceptuales de la tecnología, y por tanto de la ingeniería. Sirvan como ejemplo de estos formatos de representación una secuencia, progresivamente compleja, de los diagramas de representación de los procesos de diseño que incluye la obra de Bucciarelli (2003).

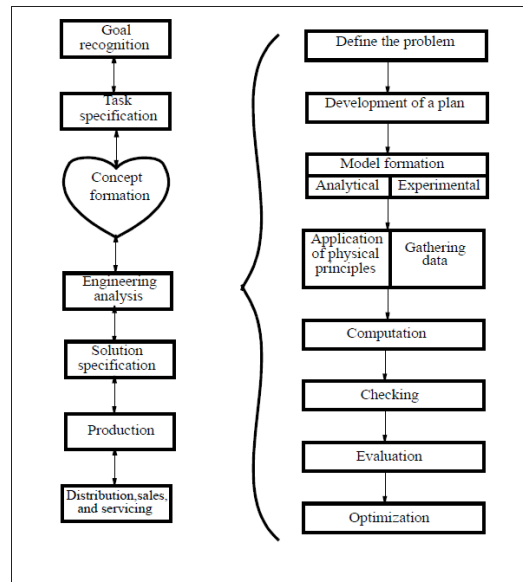


Fig. 2.3.3.b) El proceso de diseño: gráfico sencillo (Bucciarelli, 2003: 12-13)

Esta secuencia de representaciones gráficas del proceso de diseño puede complementarse con un modelo más complejo aún en donde se representa el caso de optimización multiobjetivo en el diseño.

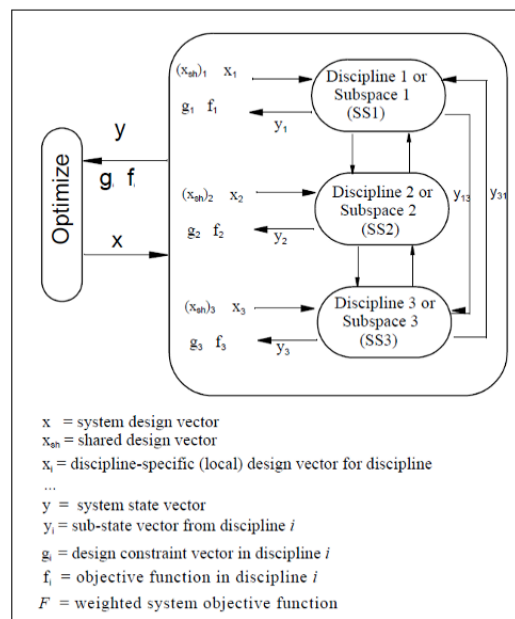


Fig. 2.3.3.c) Optimización multi-objetivo en diseño (Bucciarelli, 2003: 14)

El diseño ingenieril sigue siendo un tema de actualidad. En 2008, Vermaas *et al.* editan el volumen *Philosophy and Design: From Engineering to Architecture*¹³⁹, en donde reúnen el estado actual de la filosofía y ética del diseño tanto en ingeniería como en arquitectura¹⁴⁰. De igual modo, en la obra de Meijers (ed.) *Philosophy of Technology and Engineering Science* (2009) se dedica una de sus seis partes a la filosofía del diseño ingenieril, en donde se encuentran distintas aportaciones de interés¹⁴¹ para la cuestión del diseño ingenieril. El concepto de diseño está adquiriendo tal importancia en el espacio de contacto entre la tecnología y la ingeniería con la filosofía que autores como Turnbull (2010), en “The Context and Nature of Engineering Design” destacan que “el diseño es la actividad esencial y fundamental de la ingeniería”¹⁴².

2.3.3.3 Modelos: artefactos de conceptualización *ex ante* en el método tecnológico

Los modelos, así como la representación tanto de los modelos como de aspectos más concretos de la producción ingenieril, son dos cuestiones de relevancia en todas las fases del ciclo de la actividad tecnológica e ingenieril. Dado que se están poniendo de manifiesto los paralelismos entre el diseño como parte de la técnica de elucidación filosófica y el diseño como parte de las tecnologías ingenieriles, parece pertinente traer a este punto las reflexiones de Cuevas (2008), en donde expone lo que serían, pensando en una propuesta de axiología ingenieril, los valores deseables para los modelos de las ciencias tecnológicas. Así, considera los requisitos que deben satisfacer los modelos para representar ciertos aspectos de la realidad en el modo que los ingenieros consideren relevantes para sus propósitos.

De esta forma, los modelos ingenieriles deben tener como valores: 1) consistencia interna, para no llegar a conclusiones contradictorias, como exigencia de racionalidad científica; 2) adecuación empírica, aunque con flexibilidad suficiente como para renunciar a dar resultados exactos a favor de cálculos que provean a los ingenieros de un espectro de resultados seguros; 3) fertilidad, en tanto que a partir de un conjunto relativamente pequeño de conceptos y principios teóricos los tecnólogos han de proporcionar conocimientos suficientes para la realización de los más diversos artefactos; 4) capacidad para evitar la aparición de resultados inesperados desfavorables, reforzando la valoración positiva de los futuros usuarios de esos modelos; 5) novedad, en tanto en que sean capaces de describir y explicar fenómenos que no habían sido objeto de investigación científica con anterioridad; 6) adecuación a la heterogeneidad ontológica, al tratar con diferentes clases de entidades donde no pretenda reducirlas ni idealizar sus características para que encajen en una categoría general, sino que propone caracterizaciones para el comportamiento de conjuntos de fenómenos mucho más reducidos; 7) aplicabilidad a las necesidades humanas presentes.¹⁴³

La obra de Meijers (ed.) *Philosophy of Technology and Engineering Science* (2009) dedica una de sus seis partes a la modelización en la ingeniería (ciencias ingenieriles), de modo que pueden destacarse como contribuciones interesantes: “Introduction to modelling in

¹³⁹ Vermaas, P.E., Kroes, P., Light, A., Moore, S. (eds.) (2008): *Philosophy and Design: From Engineering to Architecture*.

¹⁴⁰ De este volumen pueden destacarse por su interés y utilidad las aportaciones: “Deciding on Ethical Issues in Engineering Design” de Van Gorp y Van de Poel; “Design in Engineering and Architecture: Towards an Integrated Philosophical Understanding” de Kroes, Vermaas, Light & Moore; “Thinking about Design: Critical Theory of Technology and the Design Process” de Feng y Feenberg; “Design and Responsibility: The Interdependence of Natural, Artifactual, and Human Systems” de Cook; y “Nature, Aesthetic Values, and Urban Design: Building the Natural City” de Parsons.

¹⁴¹ Como: “Introduction to a Philosophy of Engineering Design” de Kroes, “Thinking about design: an historical perspective” de Buchanan, “Typologies of design practice” de Dorst & van Overveld, “Foundational issues of engineering design” de Kroes, “Rationality in design” de Kroes, Franssen & Bucciarelli, y “Designing Socio-Technical Systems” de Bauer y Herder.

¹⁴² Turnbull (2010): “The Context and Nature of Engineering Design”, *Philosophy of Engineering*, vol 1., p. 30.

¹⁴³ Cfr. Cuevas, A. (2008): “Una axiología para las ciencias tecnológicas”, *ArtefaCToS*, vol. 1, nº 1, nov. 2008, pp. 62-63.

engineering sciences” de Zwart, “The notion of a model: a historical overview” de Müller, “Functional modelling and mathematical models: a semantic analysis” de Hodges, “Models as epistemic tools in engineering sciences” de Boon & Knuuttila, “Scale modelling in engineering” de Zwart, “Similarity and dimensional analysis” de Sterrett.

Una de las más recientes contribuciones editoriales en modelización ingenieril puede encontrarse en *The Engineering Design of Systems: Models and Methods* (2016) de Buede y Miller (eds.), más concretamente en el capítulo “Modeling and SysML Modeling”, en donde se describen los distintos tipos de modelos (físico, cuantitativo, cualitativo y conceptuales) y su papel en la ingeniería, específicamente en la ingeniería de sistemas, y donde repasa el estado de distintas técnicas de modelización en el campo ingenieril.¹⁴⁴

Para finalizar este repaso de las vinculaciones de la tripleta diseño-modelo-sistema, he seleccionado dos libros del ingeniero Javier Aracil¹⁴⁵, quien además de sus profundos trabajos académicos en materia de ingeniería, de sistemas y modelos, ha realizado singulares aportaciones a la filosofía de la ingeniería¹⁴⁶. Se trata entonces de una visión profundamente ingenieril, pero no exenta de una perspectiva filosófica, lo que en mi opinión enriquece esta visión conjunta de la actividad ingenieril de diseño, para la que Aracil rescata la denominación ‘tecnología intelectual’¹⁴⁷, de los modelos y de los sistemas, que observa esencialmente como entidades dinámicas.

El último párrafo del libro de Aracil (1986), en el apartado ‘Modelado, sistémica y tecnología intelectual’ puede considerarse como una síntesis de esta visión: “En los modelos se integra y organiza, en una adecuada estructura, la compleja percepción que se tiene de la realidad. Esta percepción trasciende a la mera medida de las partes; necesita de su integración armoniosa, para lo que el modelo es un útil insustituible. De este modo la sistémica pretende contribuir a una mejor comprensión de la realidad, tratando de captarla formalmente en toda su honda trabazón de conexiones e interdependencias.”¹⁴⁸

2.3.3.4 Un método tecnológico ingenieril conceptual: problema-diseño-modelo

Se acaba de presentar una propuesta para un método (en tres tiempos) tecnológico sistemista, que ahora sintetizo en la tabla adjunta.

Tabla 2.3.3.a) Fases y subfases de un método tecnológico ingenieril conceptual y sistemista

FASES	SUBFASES
Fase 1) Problema (inverso)	1.1 identificación del problema (inverso)
	1.2 familiarización con el problema (como sistema conceptual)
	1.3 reconocimiento y aclaración del problema
	1.4 especificación general del problema y requisitos
	2.1 referirse a un modelo básico o nuclear (predefinido)
	2.2 definir las especificaciones y requisitos en detalle para la solución del problema

¹⁴⁴ Cfr. Buede, D.M. y Miller, W.D. (2016): *The Engineering Design of Systems: Models and Methods*, New Jersey: Wiley.

¹⁴⁵ Aracil, J. (1986): *Máquinas, sistemas y modelos. Un ensayo sobre sistémica*, Ed. Tecnos; y Aracil, J. & Gordillo.

¹⁴⁶ Como puede verse en: Aracil, J. (1999): “¿Es menester que los ingenieros filosofen?”, *Argumentos de Razón Práctica*.

¹⁴⁷ En Aracil (1986: 242-243), se reproduce la denominación de ‘tecnología intelectual’ de Daniel Bell: “la promesa metodológica de la segunda mitad del siglo XX es la dirección de la complejidad organizada, la complejidad de las grandes organizaciones de sistemas, la complejidad de una teoría con un gran número de variables, la identificación e instrumentación de la estrategia para una elección racional en el juego contra la naturaleza y en el juego contra las personas, y el desarrollo de una nueva tecnología intelectual que, para fines del siglo, tendrá tanta importancia en asuntos humanos como la tecnología maquinista en el siglo pasado y primera mitad de éste.” (tomado de Bell, D., 1976 *El advenimiento de la sociedad postindustrial*, Alianza Ed., p. 46).

¹⁴⁸ Aracil, J. (1986): *Máquinas, sistemas y modelos. Un ensayo sobre sistémica*, p. 250.

FASES	SUBFASES
Fase 2) Diseño	2.3 identificar los conceptos (componentes y relaciones) que forman el sistema
	2.4 definir, si se consideran varios sistemas, el sistema complejo o supersistema correspondiente
	2.5 elaboración de un mapa conceptual o un diagrama de influencias
	2.6 establecer los límites (incluyendo entorno) del sistema (y supersistema, en su caso)
	2.7 identificar procesos (y retroalimentaciones) y mecanismos del sistema (y supersistema)
Fase 3) Modelo	3.1 evaluar cumplimiento de especificaciones y requisitos generales y particulares del modelo conceptual
	3.2 elaboración del modelo como diagrama de Forrester o representación equivalente
	3.3 descripción del sistema complejo (o supersistema) y de los sistemas acoplados
	3.4 descripción de los conceptos (componentes y relaciones) característicos de cada uno de los distintos tipos de sistemas;
	3.5. formalización avanzada y cuantificación del modelo sistémico.

3 HACIA UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE TECNOLOGÍAS

En el apartado anterior se han extraído, a partir de la tecnología y la ingeniería, una serie de elementos interesantes que pueden aportarse a las bases de una elucidación filosófica. Pero los elementos que se han extraído son del ámbito metodológico, habiendo sido elaborados en su mayor parte por profesionales de la tecnología y de la ingeniería, por lo que se entiende que eso no deja de ser más que una consideración preliminar sobre la materia, y que la tecnología como actividad debe ser especialmente considerada desde la filosofía de la tecnología.

En el presente capítulo se reúne una serie de reflexiones filosóficas que explican y también conducen hacia las bases metodológicas para un modelo de elucidación filosófica de una tecnología, para lo que he considerado tres apartados.

3.1 UNA ELUCIDACIÓN DESDE LA FILOSOFÍA DE LA TECNOLOGÍA

En primer lugar –una vez asumida la ingeniería como un tipo de tecnología– se presentan los motivos por los que se entiende que la sede natural para una elucidación filosófica de la ingeniería sería la filosofía contemporánea de la tecnología, señaladamente desde la tradición de la filosofía analítica.

A continuación, y una vez que se acepta –sin renunciar a otras aportaciones– como sede la filosofía contemporánea de la tecnología, procede aproximarse a uno de los núcleos teóricos más completos disponibles a la hora de emprender una investigación filosófica de tecnologías. El núcleo teórico (o corpus) seleccionado sería el de la filosofía de la tecnología de Quintanilla, desde una tradición analítica, que queda ampliamente recogido en su obra *Tecnología: un enfoque filosófico* (2005). Puede considerarse en gran medida que este núcleo teórico ha servido como impulsor de la presente investigación.

En el tercer subapartado se atiende a cómo hay tensiones de cambio que están afectando a la filosofía de la tecnología: la visión de la ciencia y la tecnología en tanto sistemas de acciones y por tanto como actividades; el giro empírico en la filosofía de la tecnología; la ampliación del espacio de la filosofía práctica en el campo de la tecnología; y por supuesto los enfoques de ontologías y epistemologías sistemistas.

En el siguiente subapartado se estudian los compartimentos, por así decirlo, desde los que se ha venido parcelando la filosofía de la tecnología, y que entroncan con tradiciones filosóficas centenarias, en donde destacan las áreas de la ontología, epistemología y axiología; que a su vez sirven como campos o dominios en donde se sitúan los conceptos más conspicuos de la filosofía de la tecnología. A partir de esto, precisamente teniendo en cuenta que la filosofía de la tecnología contemporánea está sometida a ciertas tensiones de cambio, he intentado traducir de alguna manera esos cambios que por sí mismos suponen ampliar los campos de investigación. De este modo, puede hablarse, además de la metodología, la semántica y la ética, también de la praxiología y de la semiótica.

3.1.1 Una elucidación filosófica desde la filosofía de la tecnología

Una elucidación filosófica de la ingeniería –de cualquier ingeniería– puede abordarse desde una ‘filosofía de’, según la concepción “genitivista” de Moulines (2009). Una

concepción que surge del impulso (filosófico) hacia un pensamiento de segundo nivel, según la cual el término ‘filosofía’ es sincategoremático y “obtiene su pleno sentido solamente cuando va acompañado de un genitivo que designa algún fenómeno cultural. De acuerdo a esta concepción, no hay filosofía a secas.”¹⁴⁹

Según se ha observado antes, puede establecerse un orden descendente de las siguientes actividades: tecnologías > ingenierías > ingeniería civil y ambiental. Sin embargo, no resulta igual de sencillo establecer la correspondencia equivalente que sería: filosofía de la tecnología > filosofía de la ingeniería > filosofía de la ingeniería civil y ambiental. En primer lugar porque no puede decirse que exista un corpus de ‘filosofía de la ingeniería civil y ambiental’ (por supuesto tampoco de la ingeniería civil ni de la ingeniería ambiental por separado). Porque la filosofía de la ingeniería está en un proceso de definición y desarrollo como disciplina, o si se quiere –en su caso– como subdisciplina de la filosofía de la tecnología. Y también porque esta última es tan amplia y variada que elude, sin una elaboración previa, poder ser el punto de partida directo para una metodología de elucidación que se sustancie en un modelo de elucidación filosófica de una tecnología.

Así, en el momento actual, el estado de la cuestión muestra tres grandes rutas potenciales (en línea con la concepción genitivista) para abordar una elucidación filosófica de la ingeniería: la filosofía de la ciencia, la filosofía de la tecnología o la emergente filosofía de la ingeniería. También podría considerarse una ruta alternativa ‘0’, en donde se abordara la elucidación filosófica directamente desde la filosofía, sin atender a mediación disciplinar alguna. Pero, aún valorando las posiciones de autores como Vega Encabo (2009), para quien el mayor interés está en el resultado de la investigación filosófica sobre la materia técnica, y no tanto en si este enfoque procede de la filosofía de la ciencia, de la filosofía de la tecnología o incluso de una filosofía de la ingeniería, se entiende que para este proceso de investigación resulta ventajoso asumir como punto de partida el estado actual de una de esas tres rutas.

Se trata, en definitiva, de explorar el estado actual para llegar a elegir como punto de partida entre el maduro campo disciplinar de la filosofía de la ciencia, una filosofía de la tecnología mayoritariamente reconocida, o una filosofía de la ingeniería apenas en formación. El hecho de elegir uno de estos enfoques como el enfoque de referencia no significa en ningún caso que se ignoren las aportaciones de los otros enfoques. Es más, en este apartado van a considerarse las posibles aportaciones para una elucidación filosófica de la ingeniería de otros diversos enfoques potencialmente complementarios –y muy próximos a la actividad ingenieril– como son el praxiológico, el sistémico, o nuevas aportaciones a la filosofía de la acción (*cf.* Marcos, 2010)¹⁵⁰.

Lo que apoya en este punto es que, en la actualidad, y a pesar de que exista una creciente producción filosófica sobre la ingeniería, el marco estable más completo desde el que emprender una elucidación filosófica de una ingeniería es el de la filosofía de la tecnología. Por supuesto que tal decisión no supone que se vaya a prescindir de las aportaciones más conocidas en filosofía de la ingeniería, señaladamente lo que puede denominarse la comunidad oriental (con autores como Bo-cong Li *et al.*), así como la comunidad euroamericana (con autores como Bucciarelli).

Para revisar los fundamentos de esta posición se han elaborado, a partir de las propuestas seminales en filosofía de la tecnología de Quintanilla (2005), una serie de diagramas explicativos de la adecuación entre el objeto, estrategia y problemas que preocupan a la filosofía de la tecnología. En estos diagramas se expresa la posibilidad de que la ingeniería

¹⁴⁹ Moulines, C.U. (2009): “¿Es la filosofía una ciencia?”, *ÁGORA*, Vol. 28, nº 2, p. 32.

¹⁵⁰ Marcos, A. (2010): *Ciencia y Acción. Una filosofía práctica de la ciencia*, México: FCE, 399 pp.

ambiental sanitaria, como actividad ingenieril, se entienda como un subconjunto del dominio de la filosofía de la tecnología. Este es el supuesto de enfoque seleccionado, frente a los casos alternativos como sería que la actividad ingenieril se enmarcara en la filosofía de la ciencia o, en el extremo que se verá más adelante, de que se enmarcara en una filosofía de la ingeniería.

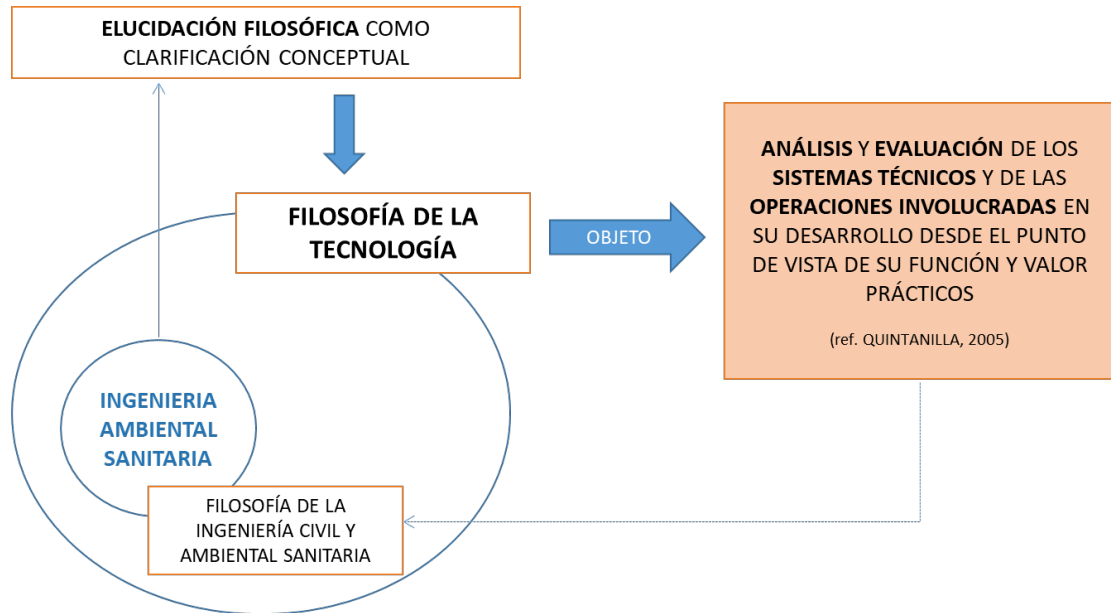


Fig. 3.1.1.a) Diagrama de correspondencia entre *objeto* de la filosofía de la tecnología y la ingeniería

En el primer diagrama se presenta la correlación entre el objeto de la filosofía de la tecnología: análisis y evaluación de los sistemas técnicos y operaciones involucradas en su desarrollo.

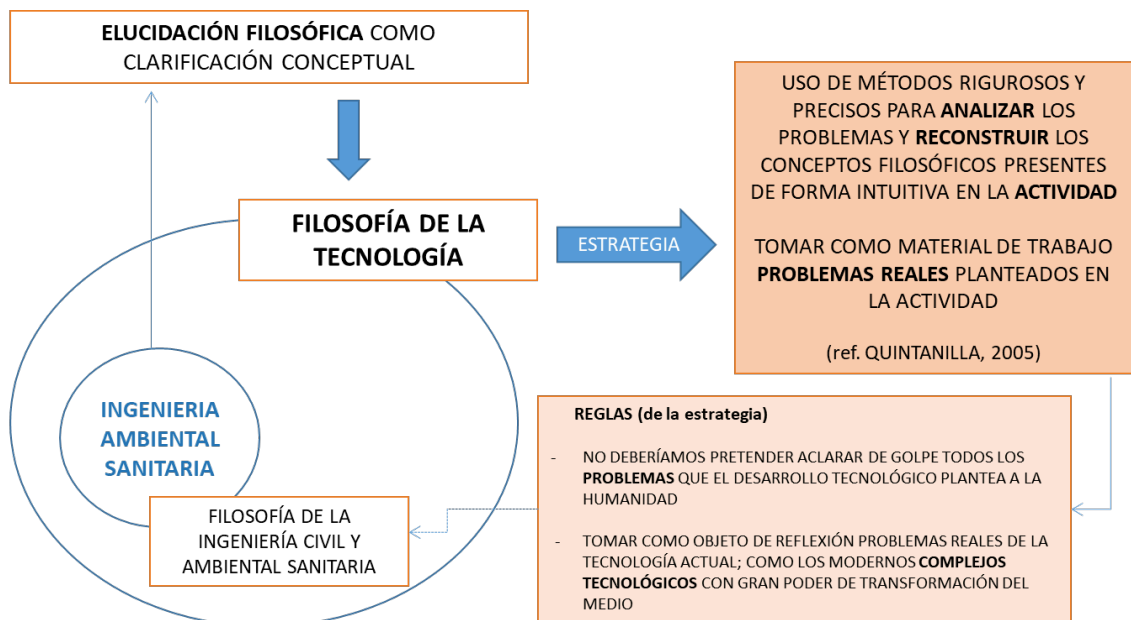


Fig. 3.1.1.b) Diagrama de correspondencia *estrategia/reglas* entre filosofía de tecnología y la ingeniería

sociales, procesos económicos, etc., que forman una unidad sistémica cuyo comportamiento hay que analizar en su conjunto si queremos comprender realmente su dinámica interna” (Quintanilla, 2005: 172).

Entre los tres, el enfoque preferible para diseñar un modelo de elucidación filosófica de actividades tecnológicas sería el sistémico, que Quintanilla (2005: 172) destaca como el “más completo y el más prometedor en filosofía de la técnica”.

Puede destacarse, por su relevancia metodológica, que el enfoque sistémico de la filosofía de la tecnología que apoya Quintanilla, no solamente pone en valor la condición de la tecnología como sistema de acciones intencionalmente orientadas a la consecución de resultados valiosos, sino que pone el acento en un carácter sistémico (sistemas de acciones) que va a entroncar con una praxiología que revitaliza. Pero junto a estas consideraciones, conviene apuntar el tratamiento que hace Quintanilla de la tecnología desde tres disciplinas filosóficas: ontología, epistemología y axiología.

Puede anticiparse que el tratamiento que hace Quintanilla sobre la filosofía de la tecnología, y sus consideraciones sistémicas y disciplinarias, están en el fundamento de la propuesta de elucidación filosófica de una ingeniería que se está elaborando. En concreto, puede observarse en este punto, como la estrategia explicitada por Quintanilla de utilizar en la filosofía de la tecnología los métodos exitosos de la filosofía de la ciencia, pueden aplicarse (por extensión hasta el final del proceso) al caso de la ingeniería ambiental sanitaria.

Como se observará, el modelo de elucidación filosófica de actividades tecnológicas comporta un proceso de clarificación secuencial, aproximativa. La aproximación en los contenidos y en el tipo de enfoque (que debe hacerse progresivamente más definido) se va a hacer siguiendo lo que podría denominarse la dimensión vertical de la ruta elucidatoria. Se comenzará con un nivel general (actividades tecnológicas), para llegar hasta un nivel de detalle como es una concreta actividad tecnológica ingenieril (ingeniería civil-ambiental sanitaria), tal y como se expone a continuación.

De este modo, se entiende que una elucidación filosófica de la actividad tecnológica, o de la actividad ingenieril, debería partir de una estructura de nivel alto que pueda dar cuenta de los aspectos más relevantes de la actividad, pero que además permita llegar a relacionar esa estructura con las redes de conceptos y con los conceptos nodulares.

3.1.2 Núcleo teórico de una elucidación filosófica de tecnologías: Quintanilla (2005)

En el apartado anterior se ha puesto de manifiesto que, al objeto de elucidar filosóficamente una ingeniería (entendida no solamente como conocimiento o incluso como artefactos, sino también como actividad) puede ser conveniente no sólo atender a los conceptos relevantes de la actividad, sino a la forma en que se desarrolla esas actividad. Desde el principio, en el apartado de estado de la cuestión, se han resaltado las aportaciones de Miguel Ángel Quintanilla (1989, 2005) en filosofía de la tecnología, y cómo se consideran fundamentales para este trabajo de investigación. Una investigación que pretende aplicar un modelo de elucidación filosófica conceptual para elucidar actividades tecnológicas, como es el caso de las ingenierías.

En nuestro caso, la elucidación filosófica conceptual se plantea como una actividad de investigación filosófica que pretende clarificar actividades, más concretamente una determinada clase de actividades tecnológicas, como es la ingeniería. Para definir una metodología para esta elucidación se cuenta hasta el momento con: (i) las bases metodológicas de la elucidación conceptual que pueden considerarse tradicionales (ejemplificable en los modelos elucidatorios de Carnap y de Strawson, que se han visto antes) que van a ser un punto de partida; y (ii) las aportaciones derivadas de que el objeto a elucidar

sea una ingeniería (y de ahí la familiaridad con las nociones de diseño, modelo y sistemas, como se ha visto). Este es un importante punto de partida.

Además de estas bases, he estimado que para comenzar resulta interesante apoyarse en otros avances de elucidación (o investigación, en sentido más amplio) filosófica de las tecnologías. Ya se ha señalado cómo la elucidación filosófica ingenieril se entiende subsumida en la más amplia filosofía contemporánea de la tecnología. Siguiendo con lo anterior, he optado por complementar esta propuesta de metodología elucidatoria en las investigaciones filosóficas de la tecnología de Quintanilla (1988, 1989, 2005).

Más arriba se ha planteado que para una elucidación filosófica de una ingeniería debería tenerse identificados aquellos conceptos o nociones filosóficamente más importantes de la ingeniería (tecnología ingenieril). Esto ocurre en la propuesta de Quintanilla, quien caracteriza la tecnología en relación con un “sistema de acciones intencionalmente orientado a la transformación de objetos concretos para conseguir de forma eficiente un resultado valioso” (Quintanilla, 2005).¹⁵² Desde esta caracterización, el autor expone las nociones más relevantes de la tecnología, como marco de una tecnología ingenieril, y lo hace desde tres áreas específicas de investigación filosófica: ontología, epistemología y axiología. Tres áreas que se representan a modo de cartografía básica de áreas de interés filosófico.



Figura 3.1.2.a) Áreas de investigación en filosofía de la tecnología (a partir de Quintanilla, 2005)

En las tablas adjuntas se exponen el conjunto de las cuestiones y nociones relativas a la tecnología¹⁵³ que el autor considera que deben ser objeto de lo que sería una especial atención filosófica, esto es, elucidadas. Esto puede considerarse, en cierto modo, como la base de un mapa conceptual con tres áreas (ontológica, epistemológica y axiológica) para una elucidación filosófica de una tecnología.

Tabla 3.1.2.a) Elementos para una ontología de la tecnología, en Quintanilla (2005: 173)

Cuestiones de interés	Nociones básicas
Sistema tecnológico	Agente
Objeto tecnológico o artefacto	Acción
Realización tecnológica	Acción intencional
Modificación tecnológica	Plan de acción
Ampliación tecnológica	Sistema
Instrumento	Acontecimiento

¹⁵² En este punto puede resaltarse un cambio que se produce en la definición de tecnología que para este trabajo considero ‘canónica’. En la versión inicial de Quintanilla (1989), se habla de un sistema de acciones humanas, mientras que en la revisión de 2005 el autor retira expresamente esta precisión, para ampliar las posibilidades. Como se verá más adelante, esta será una de las razones por las que sugiero que el conjunto At de componentes incluya desde este nivel más alto (de tecnologías) la presencia potencial de agentes intencionales humanos (reunidos en la comunidad profesional) y no humanos.

¹⁵³ Para mantener un criterio uniforme a lo largo del texto, y dado que el autor sostiene que la tecnología es una clase dentro de la técnica, he sustituido las denominaciones genéricas de ‘técnica’ por el de ‘tecnología’ allí donde corresponde.

Cuestiones de interés	Nociones básicas
Herramienta	Causa
Máquina	Efecto
	Resultado
	Producto
	Proceso
	Consecuencia de una acción
	Objetivo de una acción

Tabla 3.1.2.b) Elementos para una epistemología de la tecnología, en Quintanilla (2005: 173)

Cuestiones de interés	Nociones básicas
Teoría del conocimiento tecnológico	Ciencia básica
Concepto de habilidad	Ciencia aplicada
<i>Know how</i>	Investigación y desarrollo
Invencción	Conocimiento operacional o práctico
Innovación	Conocimiento aplicado
Modelo	
Prueba	
Diseño	
Desarrollo tecnológico	
Teoría tecnológica	

Tabla 3.1.2.c) Elementos para una axiología de la tecnología, en Quintanilla (2005: 174)

Cuestiones de interés	Nociones básicas
Valores tecnológicos	Regla técnica
Factibilidad	Valor
Eficacia	Control
Eficiencia	Criterio de valoración
Fiabilidad	Valor económico
Criterios de evaluación	Valor tecnológico
Riesgo	
Seguridad	
Impacto ambiental	
Impacto social	

La terna temática (ontología, epistemología y axiología) que emplea Quintanilla no solamente responde a que ciertas cuestiones o nociones pueden tratarse mejor desde una especialidad filosófica, sino que –en mi opinión– también están hablando de una estructura subyacente de la tecnología. Entiendo que estas disciplinas no solamente son una forma más ordenada de reunir cuestiones, sino que esa forma ordenada revela –en cierta medida– una estructura conceptual. Sugiero que dentro de cada área, los conceptos relevantes tengan una estructura conectiva con otros conceptos de su propio área. Y lo mismo para los conceptos de otras áreas. Y por supuesto para las propias áreas, de las que se supone que también tendrán una estructura conectiva.

Siguiendo con un símil cartográfico, el mapa global de la tecnología de Quintanilla, tendría al menos tres territorios definidos: el ontológico, el epistemológico y el axiológico. Un mapa global que se observaría en la figura adjunta.



Figura 3.1.2.b) Áreas y cuestiones en filosofía de la tecnología (cfr. Quintanilla, 2005)

Pero además de esa estructura básica triple, la tecnología –en uno de los elementos más singulares de la propuesta– conforme a Quintanilla está referida a un sistema de acciones intencionalmente orientado. Esta propuesta entonces completa la estructura que sugiere esa terna anterior con una dimensión dinámica, procesual y sistémica. Como se verá más adelante, al igual que Quintanilla elucida importantes nociones de naturaleza ontológica, epistemológica y axiológica, también lo hace con nociones relevantes de los sistemas técnicos y cuestiones praxiológicas.

En este sentido, se adjunta una representación gráfica elaborada a partir de las caracterizaciones de Quintanilla (2005) de sistemas de acciones, promovidas por agentes intencionales, que modifican los componentes físicos, transformando el sistema. Así, el agente intencional actúa (acción 1) en un tiempo t_0 sobre componentes físicos determinados, lo que provoca una modificación del estado que pasa a ser el t_n , un estado que a su vez puede ser modificado (acción 2) para modificar de nuevo el estado de componentes físicos. Esto permite representar –a diferencia de la cartografía de la terna anterior– un sistema de acciones intencionales, donde se pone de manifiesto que para representar sistemas de acciones va a ser conveniente reflejar su dimensión temporal.

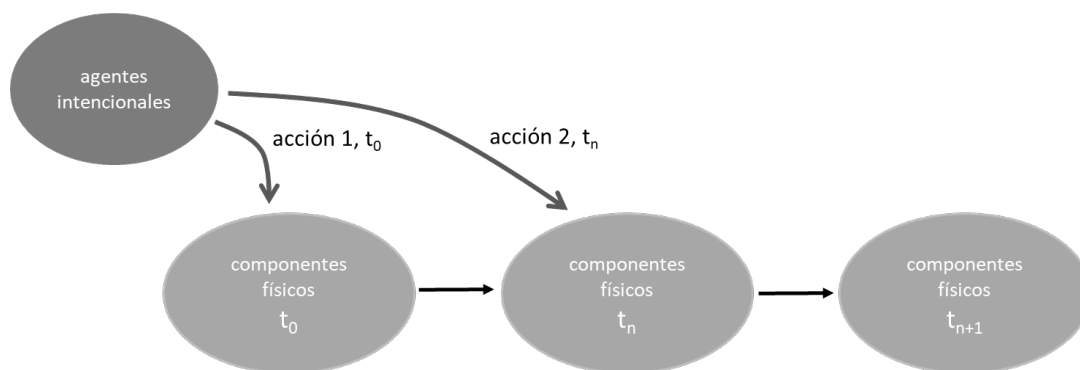


Figura 3.1.2.c) Diagrama de un sistema de acciones intencionales (cfr. Quintanilla, 2005)

Estos planteamientos de la filosofía de la tecnología de Quintanilla (entre los que destaco una valiosa definición, la división en tres grandes áreas y conceptos relacionados, junto con la caracterización de un sistema de acciones) son los que me permiten enunciar los elementos nucleares acumulados para las bases de elucidación filosófica de una tecnología, y por tanto de una ingeniería.

De forma sintética, las bases nucleares serían: (i) una elucidación filosófica de una ingeniería puede entenderse como un caso particular de una elucidación filosófica de una tecnología; (ii) la metodología básica del proceso de elucidación filosófica supone un proceso (analítico) de cambio entre *explicatum* y el *explicandum*, en donde se busca la clarificación según ajuste a una serie de requisitos; (iii) por elucidar una ingeniería puede entenderse, al menos en parte, elucidar las nociones más relevantes de la tecnología ingenieril; (iv) las nociones más relevantes a elucidar para una tecnología están consideradas en Quintanilla (1989, 2005), agrupadas en tres áreas de conocimiento; (v) al considerar distintas áreas de conocimiento filosófico (ontología, epistemología y axiología), se estaría apuntando una ruta elucidatoria (sintética) supraconceptual, organizativa o estructurante de la tecnología como una actividad; (vi) la visión sistémica de la tecnología como sistema de acciones pone en juego distintas nociones asociadas a las tres áreas de investigación filosófica, y sugiere la potencialidad de la elucidación filosófica con enfoque sistemista.

Además de estas bases nucleares elucidatorias puestas de manifiesto, el modelo que va a proponerse –que va a construirse– de elucidación filosófica de tecnologías, de acuerdo con el estudio de antecedentes y de situación actual, va a tener en cuenta los siguientes grupos de fuentes documentales de reflexión sobre: (i) el giro en el enfoque de la filosofía de la ciencia y de la tecnología hacia una filosofía de la acción (Bunge, Quintanilla, Marcos) y el ‘giro empírico’ en la filosofía de la tecnología (escuela americana y holandesa); (ii) el giro hacia una filosofía práctica en la ciencia y la tecnología (Bunge, Marcos, Lawler); (iii) la reorientación hacia una filosofía sistemista, desde sus promotores tradicionales (Bertalanffy y Laszlo) hasta las propuestas sistemistas contemporáneas de Bunge y Quintanilla.

3.1.3 Una elucidación filosófica de orientación práctica y ontología sistémica

Avanzando en esta suerte de construcción elucidatoria, se observa que la influencia creciente –aunque aún débil– de la filosofía de la acción y de la filosofía práctica en la filosofía de la tecnología puede aportar elementos interesantes para el diseño en curso de unas bases de elucidación de tecnologías. En las últimas décadas, autores de la filosofía de la ciencia y de la tecnología como Bunge (2002)¹⁵⁴, Quintanilla (2005) o Marcos (2010)¹⁵⁵ están planteando que conviene reorientar (y ampliar) la filosofía en su dimensión práctica. No solamente resaltando la idea de acción que estaría detrás de la ciencia y de la tecnología, sino también ampliando (más allá de la ética) los campos filosóficos que debería incluir una filosofía práctica (Bunge, 2002: 42).

Una de las principales razones por las que he seleccionado este triple haz de autores es, porque viniendo desde lo que podría denominarse como diferentes territorios filosóficos, coinciden en formular la necesidad –junto a otros aspectos– de una convergencia entre la orientación práctica de la filosofía y el enfoque sistémico.

En el caso de Mario Bunge, su dilatada obra presenta una marcada apuesta por la ‘filosofía exacta’ con una ontología materialista y sistemista desde la que se reclama permanentemente un giro hacia una filosofía práctica de la ciencia y la tecnología (*cfr.* Bunge, 2002: 42). En Quintanilla (1989, 2005) hay que mencionar su desarrollada noción de ‘tecnología como sistema de acciones’, en donde establece un puente ontológico y epistemológico entre la filosofía práctica, la teoría de sistemas y la tecnología.

En el caso de Alfredo Marcos, en *Ciencia y acción* (2010) presenta un programa de investigación cuyo objeto es elaborar una filosofía de la ciencia amplia, en donde se tengan

¹⁵⁴ Bunge, M. (2002): *Ser, saber, hacer*, Ed. Paidós y Facultad de Filosofía y Letras UNAM: México.

¹⁵⁵ Marcos, A. (2010): *Ciencia y acción. Una filosofía práctica de la ciencia*, México: Fondo de Cultura Económica.

presentes todas las dimensiones de la actividad científica (conectada sistémicamente con la actividad tecnológica) y especialmente los aspectos prácticos de la misma: “pensada como acción nos invita a los filósofos a explorar otras facetas o contextos, no sólo el de justificación, sino también el de descubrimiento, el de comunicación y el de enseñanza, el de aplicación, y nos sugiere la conveniencia de emplear recursos plurales, procedentes de distintas tradiciones de pensamiento.”¹⁵⁶

En la primera parte del libro, de bases filosóficas, además de la noción de la ciencia como actividad y de la relevancia de la filosofía práctica, Marcos pone sobre la mesa dos ideas que son especialmente útiles para nuestros propósitos. Por una parte la noción de sistema, que le permite tanto situar la actividad científica en relación con otras actividades humanas y sociales (como la tecnológica) como plantear la tecnociencia (siguiendo la corriente de Agazzi¹⁵⁷) como un “sistema de acciones humanas, social, abierto y adaptativo”¹⁵⁸. En segundo lugar, se considera particularmente valiosa su presentación de *frónesis* (sabiduría práctica o prudencia) para dar a lo científico, y en mi opinión también por extensión a lo tecnológico, un lugar que impida confundirlo con otros productos humanos.

La segunda parte del volumen de Marcos es una aplicación de las bases filosóficas planteadas en la primera, que toma como ejemplo algunos campos científicos actuales, como el medio ambiente, la investigación y práctica clínica, y las tecnologías de la información. Podría llamar la atención el hecho de que estos ejemplos responden casi mejor a lo que serían campos tecnológicos (ingeniería ambiental, biotecnología, tecnologías de la información) que a campos científicos; lo que podría llegar a relacionarse también con un enfoque muy amplio de la filosofía de la ciencia que incluiría –al menos parcialmente– campos tecnológicos¹⁵⁹.

En el enfoque filosófico sistémico de la tecnología, Quintanilla (2005: 172) sostiene que “en este enfoque, además de las cuestiones filosóficas tomadas en cuenta en los enfoques anteriores [epistemológicas, ontológicas, antropológicas...], adquieren importancia otras más próximas a la filosofía práctica, relativas a la evaluación de alternativas tecnológicas, a la naturaleza social de los artefactos técnicos, a la justificación del desarrollo tecnológico”.

Por otro lado, a lo largo de su dilatada obra, Mario Bunge ha insistido en numerosas ocasiones en la necesidad de revisar la actividad filosófica para dotarla de un mayor contenido práctico. Esta cuestión se trata, como ejemplo, en *Ser, saber, hacer* (2002). Más en concreto, el capítulo “La filosofía práctica como técnica” presenta un programa bungeano con tres propósitos: “El primero es ampliar la filosofía práctica, que tradicionalmente se ha identificado con la ética, para incluir en ella también la axiología, la praxiología, la metodología y la filosofía política. [...] El segundo propósito es encarar estas disciplinas como técnicas. La razón es que todas ellas, al igual que el derecho y las técnicas de la gestión, se proponen normar la conducta humana. [...] El tercer propósito es alentar a descender las técnicas filosóficas de su torre de marfil, para que colaboren estrechamente con las sociotécnicas.” (Bunge, 2002: 42)

¹⁵⁶ Marcos, A. (2010): *Ciencia y acción*, pp. 13-14.

¹⁵⁷ Las referencias de Marcos (2010) sobre el empleo filosófico de la teoría de sistemas en Evandro Agazzi remiten a: Agazzi, E. (2001) “Filosofía técnica y filosofía práctica”, en: M. Vega, C.E. Maldonado y A. Marcos (eds.) *Racionalidad científica y racionalidad humana*. Universidad de Valladolid, pp. 35-51. También, más en relación con la ética, al enfoque sistémico de la empresa científico-tecnológico, en Agazzi (1996): *El bien, el mal y la ciencia. Las dimensiones éticas de la empresa científico-tecnológica*.

¹⁵⁸ Marcos, A. (2010): *Ciencia y acción*, p. 76.

¹⁵⁹ Mi posición en esta cuestión, como se verá, es favorable a considerar como dos áreas diferenciadas al de la actividad científica de la actividad tecnológica, a pesar de sus interrelaciones evidentes. En este sentido podría ser interesante explorar la potencialidad del concepto de *frónesis* en el campo de las tecnologías (y más especialmente de las ingenierías), como una suerte de referencia marco, tanto para los sistemas conceptuales metodológico y ético, como para los praxiológicos.

Recapitulando, al elegir que este proceso de elucidación filosófica sobre tecnología se oriente a una filosofía práctica (en detrimento una filosofía más teórica), se está tomando una posición más pragmática, y se está reforzando también la consideración, tanto de la tecnología como de la ingeniería (entendida como subclase tecnológica), fundamentalmente como acciones. También se está fortaleciendo la opción futura de ampliar los habituales campos de investigación filosóficos de la tecnología más allá de la tríada ontología-epistemología-axiología (incluyendo la praxiología, entre otros). Asimismo, al ver la ciencia y la tecnología como acción, se refuerza la visión sistémica (sistemas de acciones) y se pone de manifiesto un concepto relevante, como la frónesis, en la posible articulación tanto del campo axiológico como –muy especialmente– del campo praxiológico en los modelos de elucidación filosófica. En el enfoque sistémico marco de Bunge se insiste en que “la ontología sistémica sugiere el enfoque sistémico de todos los problemas, ya sean epistemológicos o prácticos” (Bunge, 2004: 62)¹⁶⁰.

Finalmente, cuando se está hablando, como Bunge, de “la filosofía práctica como técnica” se está poniendo de manifiesto el potencial carácter técnico (filosófico) que puede tener la actividad de elucidación filosófica. Más aún, si cabe, cuando se trata de una elucidación filosófica de ingenierías, como actividades naturalmente familiarizadas con la técnica, y de forma determinante, con el diseño como técnica nodular. En cierto modo puede considerarse que una elucidación filosófica resultaría ser en gran medida un problema de diseño. Por este motivo, el siguiente apartado de este marco metodológico de elucidación abordará la cuestión del diseño en tanto una importante fase de la técnica elucidatoria.

3.1.4 Áreas filosóficas de interés para una elucidación filosófica de tecnologías

Se ha mantenido que el diseño de un modelo de elucidación filosófica debe atender a una serie de criterios, e incluso tomar ciertas decisiones acerca de qué contenidos son necesarios y oportunos, y cómo pueden organizarse. Los contenidos de una cierta investigación filosófica sobre determinada cuestión pueden relacionarse también con las ramas o disciplinas filosóficas desde las que se abordan, lo que es un modo de considerar también la naturaleza de las cuestiones que se están investigando. Aunque en sí las disciplinas filosóficas no presuponen los contenidos (o componentes) que se tratan, sí que pueden permitir una exploración e identificación de los conceptos (aislados o en redes) más comúnmente tratados y, en general, definen el marco de las entidades abstractas constituidas que forman parte de ese campo disciplinario¹⁶¹. Es más, como se ha avanzado al exponer la tríada de áreas (ontología, epistemología y axiología) que considera Quintanilla (2005) en sus investigaciones en filosofía de la tecnología, podría suponerse en cierto modo que las áreas disciplinares que abarcan en una materia contienen (o permiten desvelar) información sobre la estructura de esa actividad.

A la hora de reflexionar sobre cuáles son las disciplinas filosóficas que, como mínimo, conviene que se incorporen a una elucidación filosófica sistémica de tecnologías, puede

¹⁶⁰ Bunge, M. (2004): *Emergencia y convergencia. Novedad cualitativa y unidad del conocimiento*, Barcelona, Gedisa.

¹⁶¹ Empleo la terminología de ‘campo disciplinario’ para designar un conjunto abierto y no completamente determinado pero que puede singularizarse para la actividad filosófica a partir de las ramas habitualmente consideradas en la filosofía contemporánea de la tecnología. El término de campo lo utilizo no solamente en cuanto a conjunto demarcado, sino también en el sentido en el que se han utilizado los campos literarios (*cf.* Pierre Bourdieu) en donde el conjunto de elementos demarcados tienen también unas relaciones implícitas y explícitas, muchas veces entendidas como relaciones de fuerza, en una extensión metafórica de los campos de fuerza físicos. Cuando hablo de campo disciplinario (o campo) epistemológico, quiero observar que esta consideración de conjunto de elementos interrelacionados está en lo que podría considerarse un prediseño –o aproximación– de naturaleza sistémica.

atenderse a los conjuntos de áreas o ámbitos disciplinares que han sido estudiados en las últimas décadas por autores de grupos académicos identificables, dentro de la reserva y dificultad que se presenta a la hora de establecer este tipo de grupos. Se trata de autores y de obras que están relacionadas con la filosofía de la ciencia y la tecnología, de la ingeniería y de la filosofía de sistemas.

Al hablar de filosofía de sistemas, hay que tomar en consideración las aportaciones de Bertalanffy (1968, 1976) y de Laszlo (1972) en donde se atiende prioritariamente a tres ramas: ontología, epistemología y axiología.

Cuando se trata de la filosofía contemporánea de la ciencia y de la tecnología, puede considerarse como una referencia sobre disciplinas a la organización de los ocho volúmenes¹⁶² del *Treatise on Basic Philosophy* (1977-1989) de Bunge, en donde aparecen como campos de investigación filosófica: semántica (dos volúmenes), ontología (dos volúmenes), gnoseología¹⁶³ y metodología (tres volúmenes), y ética (un volumen).

Desde las últimas décadas del siglo XX son varios los autores que han señalado las características particulares de la actividad tecnológica y por tanto la conveniencia de profundizar más en su desarrollo como disciplina autónoma. Entre estos autores quiero destacar de nuevo a Quintanilla en el ámbito filosófico iberoamericano. Este mismo autor señala cómo a partir de los años ochenta, la filosofía de la tecnología se centra en “las grandes cuestiones de la filosofía: cómo es la realidad (ontología), cómo la conocemos (epistemología), y qué debemos hacer (axiología).”¹⁶⁴

En cuanto al denominado ‘giro empírico’ en la filosofía de la tecnología, con un enfoque (anticipado en Quintanilla, 1989) como el que ya aparece en el volumen de Kroes & Meijers (eds.) *The Empirical Turn in the Philosophy of Technology* (2000)¹⁶⁵, se pone de manifiesto cómo los autores exploran distintas maneras en que se puede utilizar datos empíricos y experiencias prácticas en relación con aspectos ontológicos, epistemológicos, éticos o más generales de la filosofía de la tecnología. El proyecto del giro empírico, como señala Kroes, es abrir la caja negra de la tecnología y observar en su interior las prácticas de la ingeniería.

Resulta de interés la revisión que hace Hilde (2002) sobre *The Empirical Turn*, en donde señala cómo el libro pretende mostrar la importancia para la filosofía de la tecnología de descripciones y análisis empíricamente adecuados, tanto de artefactos técnicos, como de los procesos (y marcos conceptuales) de diseño y producción, de las relaciones causales y funciones. Hilde afirma que en esta colección de artículos se siente la lucha por escapar de las limitaciones de una filosofía de la tecnología excesivamente involucrada con construcciones metafísicas y fórmulas universalistas.

Estas solicitudes del giro empírico coinciden cronológicamente con la propuesta de filosofía de la acción de Bunge (2002: 42) en que plantea una ampliación de la filosofía práctica, de modo que además de la ética se considerarían: la axiología, la praxiología, la metodología y la filosofía política.

¹⁶² Los títulos previstos en castellano de los ocho volúmenes son: semántica I (sentido y referencia), semántica II (interpretación y verdad), ontología I (el mobiliario del mundo), ontología II (un mundo de sistemas), gnoseología y metodología I (la exploración del mundo), gnoseología y metodología II (explicación del mundo), gnoseología y metodología III (filosofía de la ciencia y de la técnica), y ética (lo bueno y lo justo).

¹⁶³ A pesar de que el dominio de la gnoseología no coincide con el de la epistemología, y dado que Bunge es el único autor de los seleccionados que habla de gnoseología, para efectos de correlación con otros autores he optado por hacer equivalente, con todas las prevenciones, la gnoseología de Bunge a la epistemología.

¹⁶⁴ Quintanilla, M.A. (1988): “Bases para la filosofía de la técnica (La estructura de los sistemas técnicos)”, *Arbor*, pp. 11-28.

¹⁶⁵ Kroes, P. & Meijers, A. (eds.) (2000): *The Empirical Turn in the Philosophy of Technology*, Research in Philosophy and Technology (vol. 20), Amsterdam: JAI-Elsevier, 257 pp.

A este recorrido panorámico se le puede incluir, desde la filosofía de la ciencia y de la tecnología, el planteamiento de Wenceslao González (2005: 20), quien sostiene que las reflexiones filosóficas sobre lo tecnológico deberían analizar los aspectos “semánticos, estructurales, epistemológicos, metodológicos, ontológicos, axiológicos (valores internos) y evaluativos (valores externos)”.¹⁶⁶

Para ir finalizando este repaso de áreas filosóficas que se han considerado para la investigación filosófica de la tecnología, pueden incluirse campos de interés señalados por la filosofía ingenieril, elaborada fundamentalmente desde la ingeniería. Un buen ejemplo puede ser la obra del ingeniero Bucciarelli, quien aborda en su *Engineering Philosophy* (2003) los campos: epistemológico, metodológico (orientado al diseño) y pedagógico. Por último, incluyo las previsiones de cuestiones filosóficas que Marcos (2010: 300) entiende de interés en su capítulo ‘Una agenda tentativa para una filosofía de la informática’, en donde sugiere que para tal investigación se tengan presentes “cuestiones ontológicas, epistemológicas, metodológicas, axiológicas y otras tradicionalmente filosóficas.”¹⁶⁷

En las tablas adjuntas se recogen los distintos campos filosóficos que están siendo priorizados, en obras referenciales, por las corrientes de investigación en filosofía de la tecnología, en especial aquellas acordes con las preferencias señaladas para nuestro enfoque sistémico apoyado desde una filosofía de la acción ampliada.

Tabla 3.1.4.a) Áreas filosóficas más relevantes según grupos de obras y autores (1/2)

ÁREAS FILOSÓFICAS	Filosofía de sistemas: Bertalanffy y Laszlo, (1972)	<i>Treatise on Basic Philosophy</i> Bunge, (1977-1989)	<i>Enfoque filosófico de tecnología</i> Quintanilla (1989, 2005)	Filosofía de la tecnología giro empírico (2000)
Ontología	XXX	XXX	XXX	XXX
Epistemología	XXX	XXX	XXX	XXX
Metodología		XXX		
Axiología	XXX		XXX	
Ética		XXX		XXX
Praxiología			XXX	

Tabla 3.1.4.a) Áreas filosóficas más relevantes según grupos de obras y autores (2/2)

ÁREAS FILOSÓFICAS	Filosofía de la acción ampliada Bunge (2002)	Ciencia, tecnolog. y sociedad W.González (2005)	Filosofía ingenieril desde ingeniería Bucciarelli, (2003)	<i>Ciencia y Acción</i> (informática) Marcos (2010)
Ontología		XXX	XXX	XXX
Epistemología		XXX		XXX
Metodología	XXX	XXX	XXX	XXX
Axiología	XXX	XXX		XXX
Ética	XXX			
Praxiología	XXX			

¹⁶⁶ González, Wenceslao J. (2005): “The Philosophical Approach to Science, Technology and Society”, pp. 3-49, en: Wenceslao J. González (ed.) *Science, Technology and Society: A Philosophical Perspective*, Ed. Netbiblo.

¹⁶⁷ Marcos, Alfredo (2010): *Ciencia y Acción. Una filosofía práctica de la ciencia*. México: FCE.

Como puede observarse, en las tablas he considerado aquellas áreas filosóficas que tienen una clara presencia en este abanico de enfoques de investigaciones filosóficas que estoy utilizando para elaborar un modelo de elucidación filosófico de tecnologías. Aquí aparecen destacadas, como ya se vió en el núcleo teórico de Quintanilla (2005), la ontología, la epistemología y la axiología. Creo que es interesante volver a destacar que esta tripleta también es la preferencia en autores clásicos de la teoría de sistemas como Bertalanffy (1968, 1976), seguido por los primeros trabajos en filosofía de sistemas que se deben a Laszlo (1972).

A esto se le puede añadir que también aparecen consideradas disciplinas que, aunque no son plenamente coincidentes con alguna de las anteriores, sí que tienen una proximidad tal que podría ser que estén de alguna forma incluidas. Esto ocurriría tanto con la metodología¹⁶⁸ respecto a la epistemología, como con la ética respecto a la axiología. Ante esta situación se presentan varias alternativas, que van desde considerar que en la investigación filosófica de las tecnologías es necesario tratar esas dos áreas también de forma separada, hasta que debería hacerse de forma conjunta. Ahora bien, dadas las características de cada una de esas áreas, creo que es preferible que la metodología se considere inicialmente como un área diferenciado de la epistemología; mientras que la ética, en aras de la mayor sencillez del modelo y teniendo en cuenta las profundas interrelaciones con la axiología, podría articularse en un campo ético-axiológico. Bien entendido que llegado el momento de elaborar un modelo de elucidación dado, se decidirá sobre la conveniencia de mantener la separación entre los campos epistemológico y metodológico, y también de mantener la denominación agregada del campo ético-axiológico.

La última de las áreas filosóficas que se menciona en las tablas es la praxiología, siendo la que menos presencia tiene en las investigaciones sobre tecnologías. Esto puede deberse a su limitado tratamiento hasta la fecha, aunque se puede entender que tanto por su relación estrecha con la tecnología, como con una filosofía práctica ampliada, y también como por el encaje en el enfoque de filosofía sistémica, la praxiología merece tener una importante presencia cuando se elaboren modelos de elucidación filosófica sistemista de tecnologías.

Podrá decirse que hay otras áreas de conocimiento que también aparecen en alguno de los ocho conjuntos de investigaciones filosóficas que he revisado. Este es el caso de la semántica, de la filosofía política y de la pedagogía. La relevancia de la primera de ellas hará que, aunque no se plantee por el momento un campo semántico, sí que se incorpore al modelo de elucidación filosófica dentro de un conjunto especial de sistemas (semióticos)¹⁶⁹. También, como se verá, la pedagogía –junto con otras áreas minoritarias– llegará a tener cabida en el correspondiente modelo de elucidación filosófica.

3.1.4.1 Las áreas filosóficas como campos y los campos como dominios de objetos

Ya he comentado que la idea de estudiar cuáles son las áreas que tienen una mayor presencia en las investigaciones filosóficas sobre tecnologías tiene por objeto conocer no sólo estas áreas sino sus objetos (concretos o abstractos) de investigación, así como sus redes conceptuales, lo que en conjunto formaría lo que podría denominarse ‘mundo de una tecnología’.

¹⁶⁸ Se observará que según diferentes autores la epistemología y la metodología aparecen agrupadas o separadas. Un ejemplo de este último caso, que ha sido citado en anteriores apartados, sería el de Marcos (2010), quien en su capítulo de ‘Agenda tentativa de la informática’ señala cómo se pueden tratar cuatro áreas tradicionales en su estudio filosófico: ontología, epistemología, axiología y metodología.

¹⁶⁹ Como se verá más adelante, el modelo de elucidación incorporará tres tipos diferentes de sistemas. En primer lugar, los ‘sistemas de campo’ que son sistemas adecuados al modelo de sistema CES (componente-entorno-estructura) de Bunge; en segundo lugar los ‘sistemas funcionales’, adecuados a un modelo de sistema lineal; y finalmente los ‘sistemas semióticos’.

La noción de ‘campo’ que voy a emplear tiene un sentido metodológico, provisional, en este trabajo. Quiero suponer que los métodos y los objetos (reales o conceptuales) que están siendo tratados en diferentes ramas o disciplinas filosóficas (ontología, epistemología, axiología...) no responden solamente a una forma de organizar el conocimiento, sino que en cierta forma, están revelando una estructura funcional de la propia filosofía, en tanto técnica de reflexión, y que podrían estar desvelando elementos estructurales de la actividad tecnológica.

El sentido de ‘campo’ que utilizo no es solamente equivalente al de ‘área’ de conocimiento o ‘disciplina’, sino que está procurando poner de manifiesto una realidad espacial y relacional entre elementos componentes. El campo, y en este sentido me remito a la teoría de campos literarios de Bourdieu¹⁷⁰, lo es en tanto puede representarse mediante una cartografía de elementos relacionados. Con todas las prevenciones, estoy empleando también el término ‘campo’ en ese sentido, pero advirtiéndole de que los campos literarios de Bourdieu son el territorio de agentes y productos literarios, y que en nuestro caso el campo también puede estar formado por componentes abstractos (conceptuales), como resulta claramente en el campo epistemológico o en el campo axiológico. La figura que se adjunta, que es una representación del campo literario francés a finales del siglo XIX (Bourdieu [1991] 2004: 93), sólo tiene como objeto ejemplificar la noción de campo representada.

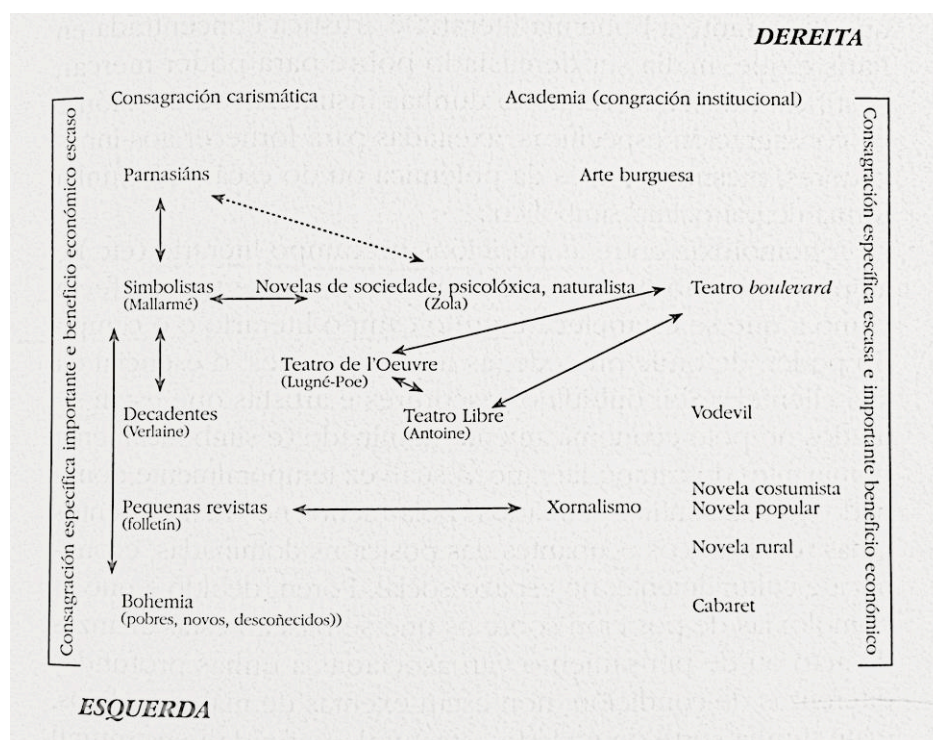


Fig. 3.1.4.a) Ejemplo de representación de campo literario (Bourdieu, [1991] 2004: 93)

De esta forma, el término ‘campo’ que estoy usando reúne las nociones de disciplina o rama de conocimiento, de espacio para componentes (concretos o abstractos) dinámicos, y de sus

¹⁷⁰ Bourdieu, Pierre (1991): *Le champ littéraire* (ed. *O campo literario*, Ed. Laiovento, 2004). Aquí señala el autor (Bourdieu [1991] 2004: 23), para definir los campos, que “los espacios sociales en los que están *situados* los agentes que contribuyen a producir las obras culturales, y que yo llamo campos (literario, artístico, científico, filosófico, etc.).

relaciones. Como puede observarse, esta noción de campo prácticamente aboca a una noción de sistema. Diversos autores han puesto de manifiesto esa condición sistémica (o presistémica) de los campos, pero en este caso también al hablar de campo se quiere resaltar la condición sistémica de esos campos. Por este motivo, y a pesar de que sea una denominación más larga, como se verá más adelante, he preferido optar por la denominación extensa de ‘sistemas de campo’.

Así, habrá que dar cuenta en cada caso (campo) por qué se ha establecido un tal determinado campo (con subcampos, eventualmente), y cuáles son los elementos (componentes, entorno y estructura, según el modelo CES de sistema de Bunge) que permiten caracterizar (elucidar) un determinado sistema o modelo de sistema.

Estoy avanzando que las tres disciplinas matrices de la filosofía de la tecnología contemporánea (ontología, epistemología y axiología) se contemplan como campos, que van a ampliarse con disciplinas conexas, y que esos campos van a considerarse como sistemas, por tanto sistemas de campo. Veremos más adelante cómo esos no son los únicos sistemas, ni los únicos modelos (CES de Bunge) de sistemas que pueden tenerse en cuenta¹⁷¹.

A la vista de lo anterior, lo que voy a sugerir es que en el modelo de elucidación filosófica de una tecnología se incluyan como campos, en todo caso, tanto los objetos (bien sean concretos o abstractos) característicos, así como las redes de objetos y las particularidades metodológicas de, al menos¹⁷², las siguientes áreas filosóficas: ontología, epistemología, metodología, axiología y ética. De este modo, y teniendo en cuenta el criterio de agrupamiento de campos vinculados, voy a considerar un campo ontológico, un campo epistemológico, un campo metodológico, y un campo ético-axiológico. Y esto supondrá, siguiendo un proceso de elucidación sistemista de la tecnología, que pudieran llegar a reconocerse –una vez identificados sus componentes, entorno y estructura– como: sistema (material) de campo ontológico, sistema (conceptual) de campo epistemológico, sistema (conceptual) de campo metodológico, y sistema (conceptual) de campo ético-axiológico.

¹⁷¹ En su momento voy a revisar no solamente los distintos tipos y modelos de sistemas, sino también las distintas representaciones de los mismos, puesto que la propuesta en desarrollo sugiere la conveniencia de una representación adecuada de los sistemas.

¹⁷² En esta nómina voy a omitir la praxiología, por cuanto el tratamiento que se le va a dar a este sistema será como sistema funcional, y por tanto diferente del sistema de campo, que es el que responde al modelo sistémico CES o CESM de Bunge.

3.2 UN MODELO DE ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE TECNOLOGÍAS

Recapitulando, a fin de explorar las bases para diseñar una elucidación filosófica de una tecnología, hasta este punto se ha puesto de manifiesto que: (i) una elucidación filosófica de una ingeniería puede fundamentarse en esquemas elucidatorios tradicionales del ámbito de la filosofía de la ciencia, como el de Carnap y el de Strawson; (ii) un método de elucidación filosófica de una ingeniería debería considerar tanto los conceptos básicos como sus relaciones, lo que hace aconsejable optar por un enfoque sistemista; (iii) la ingeniería, como actividad, puede enmarcarse en una clase más amplia, como es la tecnología, y que en correspondencia la ingeniería podría abordarse desde la filosofía contemporánea de la tecnología; (iv) es posible asumir que una elucidación filosófica es un proceso recursivo en donde el método elucidatorio, como técnica, puede correlacionarse con la fase conceptual (problema-diseño-modelo) del método tecnológico ingenieril; (v) esa recursividad se pondría de manifiesto en la elucidación progresiva desde el nivel más alto (tecnologías), pasando por niveles más genéricos (ej. ingeniería) hasta los niveles más específicos (ej. ingeniería ambiental sanitaria); (vi) conviene que el enfoque principal adoptado (desde la filosofía analítica de la tecnología) tenga presente la tensión de un giro empírico, de enfoques más próximos a la filosofía práctica, y de la visión creciente (giro praxiológico) de la ciencia y la tecnología como actividades, entendidas como sistemas de acciones; (vii) es importante que el método elucidatorio tenga presentes las diferentes aportaciones desde las tres áreas filosóficas (ontología, epistemología y axiología) habituales en las investigaciones sobre tecnología, a las que podrían sumarse la metodología y la praxiología; (viii) las distintas áreas filosóficas que se contemplan como campos incluyen conceptos y redes conceptuales que configuran campos de influencia, en un sentido presistémico; (ix) se identifican, como ámbito general de una investigación filosófica sobre tecnologías, un campo ontológico, un campo epistemológico, un campo metodológico y un campo ético-axiológico; (x) en el conjunto de once elementos que caracterizan una tecnología (Bunge, 1985) pueden identificarse cuatro subconjuntos que se corresponderían con los campos mencionados, lo que esboza un modelo de elucidación de una tecnología como un sistema complejo.

En este punto, se entiende que para seguir avanzando en las bases de diseño de ese modelo elucidatorio se hace preciso explorar un territorio, relativamente poco transitado, como es el de la filosofía de sistemas. Por tal motivo, en este subcapítulo procede avanzar en el diseño preliminar de las bases para un método de elucidación filosófica sistémica de tecnologías, para lo que se van a abordar los siguientes apartados: (i) una aproximación general a la visión filosófica sistemista; (ii) una selección razonada del tipo de sistemas que puede emplearse, así como de los modelos de sistemas y representación disponibles al efecto del manejo de la noción de sistema en el ámbito de la filosofía de la tecnología; (iii) un entronque de esos modelos de sistemas en los modelos de sistemas socio-técnicos y tecnológicos disponibles, en particular en relación con las propuestas de Bunge; (iv) la discusión de los aspectos considerados hasta el momento de cara a plantear un método de elucidación filosófica sistemista de tecnologías, y la presentación de las bases del método propuesto para una elucidación filosófica sistemista desde una tecnología hasta una ingeniería; y (v) el diseño preliminar (contenidos y estructura) de un modelo de elucidación filosófica de tecnologías.

3.2.1 Presencia de la teoría y filosofía de sistemas en un mundo de sistemas

Según se va avanzando en la cuestión del modelo de elucidación filosófica sobre tecnologías se advierte que hay una convergencia entre el método potencial de investigación (elucidación filosófica) y la materia de elucidación (tecnologías ingenieriles), y que ambas

pueden contemplarse como problemas de diseño de intervenciones en modelos conceptuales de estructura sistémica.

En los apartados anteriores ya se ha puesto de manifiesto la relación establecida (por ejemplo, en Bunge, Quintanilla y Marcos) de la filosofía de la acción y filosofía práctica con el enfoque filosófico (sobre ciencia y tecnología) sistémico. Esto puede llevar a unas sencillas reflexiones exploratorias sobre los enfoques sistémicos a la hora de emprender el estudio de entidades sistémicas. Pero lo que se plantea ahora, dentro de estas bases, es que si la elucidación filosófica sobre tecnologías se presenta como una suerte de elucidación filosófica sistémica, entonces conviene que ese enfoque filosófico tenga una orientación práctica. Y también que el proceso de elucidación filosófica pueda inspirarse metodológicamente en la técnica de diseño (método tecnológico ingenieril), lo que llevaría a un enfoque sistémico integral.

De este modo, se plantea la conveniencia, de abordar el diseño elucidatorio partiendo como base de una ontología sistémica, pero considerando la posibilidad de que el enfoque sistémico que se manifiesta en esa ontología sistémica, pueda irse ampliando hacia otros campos, como ya han sugerido Bunge o Quintanilla a lo largo de sus obras de referencia.

Así pues, se asume en este punto que el diseño elucidatorio de la tecnología va a sustentarse en una ontología sistémica, pero también que va a procurarse que los modelos diseñados de acuerdo al propósito elucidatorio respondan a un enfoque sistémico. De este modo, si el diseño de una elucidación filosófica de tecnologías va a tener en cuenta también la visión sistémica del mundo, parece conveniente reseñar algunos aspectos de la teoría de sistemas que más interés puedan tener –como alternativas– dentro de este proceso de investigación filosófica sobre actividades ingenieriles. La exploración de estos aspectos va a centrarse en aquellos puntos que mejor comuniquen el enfoque sistémico con la filosofía y con la tecnología, en particular dentro del dominio poco definido de la filosofía de sistemas.

Al tratar de filosofía, sistemas y tecnología, se va a llegar necesariamente a Bunge y Quintanilla como dos autores de relevancia para esta investigación. Sin embargo, convendrá también la revisión de las aportaciones tempranas realizadas por Bertalanffy y Laszlo, en filosofía de sistemas; y de Ropohl, en filosofía de sistemas socio-técnicos. Podrá afirmarse que esta selección de autores deja de lado otros investigadores y filósofos que trabajan sobre ciencia, tecnología y sistemas (Agazzi, Echeverría,...).

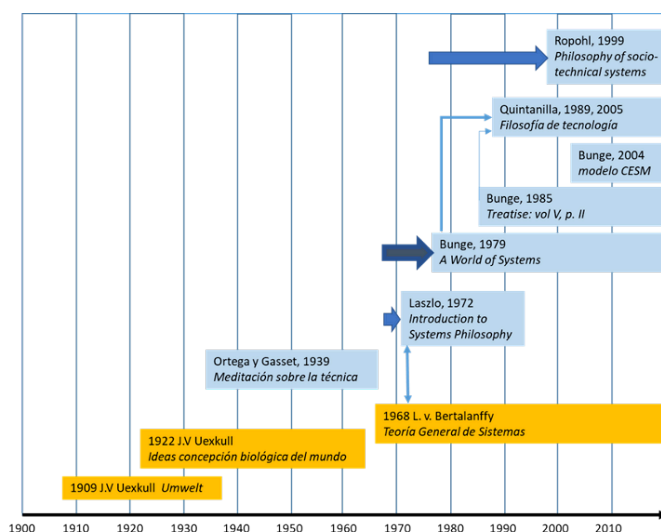


Fig. 3.2.1.a) Cronograma de obras relevantes en teoría y filosofía de sistemas

Pero en realidad lo que se pretende en este momento, como se muestra en la figura adjunta, es presentar lo que podría considerarse la bifurcación en dos grandes ramas de la filosofía sistémica, así como algunas conexiones que pueden resultar clarificadoras de la dinámica de las ideas sobre filosofía y sistemas. A la vista del diagrama de autores, obras y relaciones, se anticipa la posibilidad de distinguir dos ramas originales en la filosofía de sistemas: la que puede llamarse ‘rama Bertalanffy-Laszlo’, en donde subyace una ontología sistémica organísmica y procesual, que privilegia la función sistémica; y por otra parte la ‘rama Bunge’, basada en una ontología sistémica materialista, que privilegia la estructura (componentes/entorno y relaciones) sistémica adoptada para sistemas concretos.

Ludwig von Bertalanffy es, de lejos, la referencia seminal desde mediados del siglo XX para la concepción sistémica contemporánea. Gracias a su afán de generalización, en la búsqueda de una teoría general de sistemas, Bertalanffy va a llegar a mostrar una especial sensibilidad por aspectos filosóficos¹⁷³ que ahora siguen estando en la agenda de la filosofía de la ciencia y de la tecnología. A finales de los años sesenta, Bertalanffy señala en el prefacio a la edición revisada de su *Teoría General de los Sistemas*¹⁷⁴, que pueden indicarse tres aspectos principales, no separables, en la teoría general de sistemas: el primero sería el de la “ciencia de los sistemas”, el segundo el de la “tecnología de los sistemas”, y el tercero la “filosofía de los sistemas”. El autor considera que estos tres aspectos fundamentales son transversales a la teoría general de sistemas. Y podríamos decir que son ‘tan transversales’ que no aparecen visibles como tales en la estructura del libro *Teoría General de Sistemas*.

Esto resulta especialmente llamativo para el tercero de estos aspectos, la ‘filosofía de los sistemas’, que es materia central para esta investigación. La filosofía de los sistemas no aparece como tal en ningún epígrafe del índice del libro, ni tampoco tienen entrada en el índice analítico. Sin embargo, cuando Bertalanffy redacta ese prefacio a la edición revisada, sí que presta una especial (y expresa) atención a la filosofía de los sistemas. En mi opinión, esta singular discordancia entre el prefacio y el texto del libro de referencia podría ser uno de los motivos por los que Bertalanffy no tiene una más destacada presencia en el ámbito filosófico.

En cualquier caso, se entiende que las aportaciones que realiza este autor al enfoque de una filosofía de sistemas son de suficiente interés –aunque escasamente citadas– como para merecer una transcripción algo detallada en este texto. Cuando Bertalanffy habla de ‘filosofía de los sistemas’ está mencionando lo que puede significar el concepto de sistema, como nuevo paradigma, en términos tanto de reorientación del pensamiento como de una nueva visión del mundo. El autor pasa inmediatamente a articular sus reflexiones filosóficas sobre sistemas en torno a tres partes, a saber: ontología, epistemología y axiología.

Para Bertalanffy este orden está justificado puesto que “tenemos, primero, que dar con la ‘naturaleza del animal’. Se trata de la ontología de sistemas –qué se entiende por ‘sistema’ y cómo están plasmados los sistemas en los distintos niveles del mundo de la observación. Qué haya de definirse y de describirse como sistema no es cosa que tenga respuesta evidente o trivial.”¹⁷⁵

Se sigue este reconocimiento de una clasificación de los sistemas en: sistemas reales, como “entidades percibidas en la observación o inferidas de ésta, y que existen independientemente del observador”, y sistemas conceptuales que “son ante todo

¹⁷³ Como se verá más adelante, en un desarrollo compartido con Ervin Laszlo.

¹⁷⁴ Bertalanffy, L.v. (1968): *General Systems Theory: Foundations, Developments, Applications*, New York: George Brazillier (ed. cas.: *Teoría General de Sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones*, Fondo de Cultura Económica, 1976).

¹⁷⁵ Bertalanffy (1976): *Op. cit.*, p. xv.

construcciones simbólicas, con sistemas abstraídos (ciencia) como subclase de las últimas, es decir, sistemas conceptuales correspondientes a la realidad.” (Bertalanffy, 1976: xv).

Son los problemas de distinción entre objetos y sistemas reales, por una parte, y los sistemas conceptuales, por otra parte, los que suponen importantes problemas y que llevan, entre otras cuestiones, al campo de la epistemología de sistemas. Como señala Bertalanffy (1976: xvi-xvii):

En comparación con el proceder analítico de la ciencia clásica, con resolución en elementos componentes y causalidad lineal o unidireccional como categoría básica, la investigación de totalidades organizadas de muchas variables requiere nuevas categorías de interacción, transacción, organización, teleología, etc., con lo cual surgen muchos problemas para la epistemología y los modelos y técnicas matemáticos. Además la percepción no es una reflexión de ‘cosas reales’ (cualquiera que sea su condición metafísica), ni el conocimiento una mera aproximación a la ‘verdad’ o la ‘realidad’. Es una interacción entre conocedor y conocido, dependiente de múltiples factores de naturaleza biológica, psicológica, cultural, lingüística, etc. (...) Esto conduce a una filosofía ‘perspectivista’ (...) Vemos la ciencia como una de las ‘perspectivas’ que el hombre, con su dotación y servidumbre biológica, cultural y lingüística, ha creado para vérselas con el universo al cual está ‘arrojado’ o, más bien, al que está adaptado merced a la evolución y la historia.

Continuando con esta especie de ‘programa para una filosofía de los sistemas’, Bertalanffy (1976: xvii) concluye con una serie de referencias al campo axiológico:

La tercera parte de la filosofía de los sistemas se ocupará de las relaciones entre hombre y mundo o de lo que se llaman ‘valores’ en el habla filosófica. Si la realidad es una jerarquía de totalidades organizadas, la imagen del hombre diferirá de la que le otorgue un mundo de partículas físicas gobernadas por el azar, como realidad última y sola ‘verdadera’. Antes bien, el mundo de los símbolos, valores, entidades sociales y culturas es algo muy ‘real’ (...). Este cuidado humanístico de la teoría general de los sistemas, tal como la entiendo, la distingue de los teóricos de los sistemas, orientados de modo mecanicista, que sólo hablan en términos de matemáticas, retroalimentación y tecnología, despertando el temor de que la teoría de los sistemas sea en realidad el paso final hacia la mecanización y la devaluación del hombre y hacia la sociedad tecnocrática. Aunque comprendo y subrayo el aspecto matemático, científico puro y aplicado, no me parece que sea posible evadir estos aspectos humanísticos, si es que la teoría general de los sistemas no ha de limitarse a una visión restringida y fraccionaria.

Estos aspectos de la filosofía de los sistemas de Bertalanffy son tributarios de las reflexiones mantenidas junto con Ervin Laszlo¹⁷⁶ a finales de la década de los sesenta, ya que a principios de la década de los sesenta es cuando este último publica *Introduction to Systems Philosophy*:

¹⁷⁶ En su obra *El universo in-formado* (2007), Laszlo comenta en el apartado final “Una retrospectiva final: cuatro décadas de búsqueda de una teoría integral del todo”, cómo a finales de los sesenta, una vez asumidas las tesis de Whitehead de la realidad como proceso en el marco de una metafísica orgánica, sus compañeros de Yale le recomendaron el trabajo de Bertalanffy en el área de la Teoría General de Sistemas: “Leí a Bertalanffy, luego le conocí y desarrollamos el concepto de lo que conjuntamente denominamos la ‘filosofía de los sistemas’. *Introduction to Systems Philosophy* (1972) fue un libro de investigación concienzudo, que me llevó cinco años escribir, y, cuando fue publicado, estuve tentado de dormirme en los laureles durante un tiempo.” (Laszlo, 2007: 171).

Toward a New Paradigm of Contemporary Thought (1972). La obra de Laszlo está prologada por Bertalanffy. Esta introducción a la filosofía de sistemas, que contiene las aportaciones teóricas más formales de Laszlo, puede considerarse una de las primeras publicaciones en esta materia, aunque podría decirse que es una obra que no ha conseguido incorporarse a las corrientes principales de la filosofía de la ciencia y de la tecnología.

A pesar de lo anterior, esta obra incluye una serie de elementos y consideraciones que creo que merecen ser destacadas y, eventualmente, reconsideradas al efecto que se persigue de la elaboración de un modelo de elucidación filosófica con enfoque sistémico.

Laszlo mantiene una concepción funcional de los sistemas, para los que considera dos tipos: sistemas físicos o naturales, y sistemas cognitivos. Los sistemas cognitivos (Q) se representan (Laszlo, 1972: 120) como una función de las cuatro variables independientes más características del sistema, según la formulación:

$$Q = f(\alpha, \beta, \Upsilon, \delta)$$

En donde la variable α se refiere a la totalidad y orden del sistema. La variable β informa de la auto-estabilización adaptativa como propiedad cibernética del sistema. La variable Υ se refiere a los fenómenos de auto-organización adaptativa del sistema. Y, finalmente, la variable δ , que se refiere a las propiedades ‘holon’ y las características de orden intra e interjerárquico de los sistemas. (cfr. Laszlo, 1972: 120)

Dada la aparente ausencia de conexiones directas entre la obra de Bertalanffy/Laszlo y la de Bunge, querría destacar una sencilla referencia documental, sobre como Laszlo (1972: 49, 175, 177) cita a Bunge (1969) en “The Metaphysics, Epistemology and Methodology of Levels”¹⁷⁷, sobre cuestiones relativas al concepto de ‘jerarquía’. En ese momento aún no están disponibles las contribuciones bungeanas a la filosofía de sistemas.

Esta referencia a Bunge permite reconocer la presencia temprana de este filósofo de la ciencia en la órbita de la teoría de sistemas. A partir de la década de los setenta, las contribuciones de Bunge a diferentes aspectos de una filosofía de sistemas se hacen cualitativa y cuantitativamente, de la mayor importancia. Esta relación de filosofía y sistemas aparecerán en su *Treatise on Basic Philosophy*, muy especialmente en *Ontology II: A World of Systems* (1979), que podría considerarse como uno de los textos fundacionales de una filosofía contemporánea de sistemas.

A la vista de sus aportaciones, no puede hablarse de investigaciones filosóficas sobre sistemas y del enfoque sistémico de la investigación filosófica sin la referencia seminal de los distintos trabajos de Mario Bunge. Sin embargo, la extensión y profundidad de la obra filosófica de Bunge se resiste –en cierta medida– a la extracción de un método o un procedimiento identificable que pudiéramos considerar como elucidatorio; no tanto porque el objeto de la investigación sea un sistema (lo que es manifiesto en la ontología sistémica bungeana) sino porque su método de investigación filosófico o elucidatorio responda a un modelo sistemista.

Está fuera de toda duda el profundo carácter sistemista de la obra de Bunge, una orientación que también se encuentra –como ya se ha destacado– en la filosofía de la tecnología de Quintanilla, quien es tributario desde muy pronto de las posiciones de Mario Bunge, tal y como se refleja en el cronograma propuesto. Pero, al contrario que en la extensa obra de Bunge, el hecho de que Quintanilla haya centrado más sus intereses en la filosofía de la tecnología ha propiciado que sus aportaciones tengan desde el origen una importante dimensión sistémica.

¹⁷⁷ Bunge, M. (1969): “The Metaphysics, Epistemology and Methodology of Levels”, en: R.W. Gerard (ed.) *Hierarchical Structures*, New York: Wilson & Wilson.

Siguiendo la presentación cuasi histórica del cronograma, se incluye la presencia de otra ‘rama’ de la filosofía sistémica, en que puede encuadrarse como representante a un autor de formación mixta (ingenieril y filosófica) al alemán Günter Ropohl, con su artículo “Philosophy of socio-technical system” (1999)¹⁷⁸, en donde de forma sucinta se presentan la aplicación de la teoría general de sistemas a los sistemas socio-técnicos (de relaciones ser humano-máquina), como un sistema de acciones que incluiría los subsistemas de ejecución, de información, y también los de los objetivos.

Como se está observando, en la escasa literatura filosófica sobre sistemas no se advierte el empleo de una determinada metodología elucidatoria sistemista, ni para la investigación de los sistemas, ni para el proceso o método de investigación. Por este motivo, elucidar filosóficamente sistemas o utilizar la teoría de sistemas como apoyo a los procesos elucidatorios filosóficos, puede considerarse como una posición relativamente nueva, diferente e interesante de las investigaciones filosóficas.

3.2.2 Sistemas tecnológicos sistematizados: tipos, modelos y representación

En el subcapítulo anterior se ha sugerido que la elucidación filosófica de tecnologías podría verse como un problema característico del diseño en la ingeniería, más en concreto en la ingeniería de sistemas. Esto nos lleva al punto de plantear algunas cuestiones básicas que serán relevantes a la hora de diseñar modelos de sistemas tecnológicos, en tanto también puede considerarse un proceso de elucidación filosófica como una técnica (filosófica). En este sentido, puede mencionarse que Bunge (2002: 49) en su giro hacia una filosofía práctica plantea “la filosofía práctica como técnica”, con el propósito de encarar varias disciplinas (ética, axiología, praxiología, metodología y filosofía política) como técnicas filosóficas, que “se proponen normar la conducta humana” y que configuran lo que para el autor esboza como su “concepción de las cinco ramas de la tecnología filosófica”.

Si se opta por una visión sistemista del mundo, y por un enfoque sistemista de la filosofía de la tecnología, habrá que hacer una cierta revisión del estado de cuestiones como: los tipos de sistemas que se consideran en filosofía de enfoque sistémico, la modelización de los sistemas y, finalmente, la representación de sistemas.

El tipo de sistemas en que pueden enmarcarse las tecnologías, son tanto los conocidos como sociosistemas y también como tecnosistemas, teniendo en cuenta que se entiende habitualmente que éstos son una especie de los primeros (sociosistemas). Bajo cualquier denominación, se trata de una clase tan importante, que ha ido adquiriendo progresivamente su propio espacio.

Bunge [1979] (2012) señala que toda sociedad humana está compuesta de diversos subsistemas sociales, donde los principales subsistemas de una sociedad humana serían: organización política, economía y cultura. En este apartado Bunge hace referencias a los que considera los tres principales subsistemas sociales: “*economía* (recolección, caza, pesca, fabricación, comercio, finanzas), *cultura* (creación y difusión artística, tecnológica, científica y humanística) y *organización política* (Gobierno de todas clases, actividades políticas no gubernamentales, militares)” (Bunge, 2012: 268). De ahí que pueda aproximarse la tecnología como un sistema social y subsistema cultural.

Este autor pone como ejemplo el de un sistema de salud de una comunidad moderna, como un subsistema de la misma caracterizado por las coordenadas entre las que se encuentra: “*Composición*: médicos, enfermeros, administradores, empleados administrativos, personal de

¹⁷⁸ Ropohl, G. (1999): “Philosophy of socio-technical systems”, *Soc. for Philosophy and Technol.*, vol 4, nº 3, Spring 1999.

limpieza, pacientes internos, pacientes externos, etc.; *Entorno inmediato*: instalaciones hospitalarias, muebles, instrumental, ambulancias, familias de los miembros del sistema, etc.; *Estructura*: relaciones de diagnóstico y pronóstico, medicación y operación, consulta y otros actos dirigidos a los pacientes, suministro de información a sus familias, tareas de organización, enseñanza, aprovisionamiento, mantenimiento de la limpieza de las salas, etc.” (Bunge, 2012: 254).

Un tecnosistema es un tipo de sociosistema en el que se combina la gestión y fuerzas productivas (producción material y cultural), que existe en “los modernos sistemas comerciales, plantas industriales, redes de comunicación, hospitales y escuelas bien gestionadas; en síntesis, en todo sitio en el que haya gente trabajando según los cánones de la tecnología (científica) de avanzada” (Bunge, 2012: 266).

Un sistema es un tecnosistema si: (i) su composición incluye a seres humanos y artefactos; (ii) su entorno incluye componentes de una sociedad; y (iii) su estructura incluye la producción, mantenimiento o utilización de artefactos (*cfr* Bunge, 2012: 266).

3.2.2.1 Tipos de sistemas

Cuando se plantea una visión sistémica de la tecnología, de los sistemas tecnológicos, debe hacerse una consideración sobre cuáles son los tipos de sistemas que pueden ayudar a caracterizar estos sistemas tecnológicos. Tanto desde la teoría general de sistemas, como desde concretas especificaciones de la misma, se han establecido muy diversas clasificaciones de sistemas. Sin embargo, lo que más me interesa en este punto es recoger las propuestas de tipificación de sistemas que se han realizado desde la investigación filosófica sistemista.

Como se ha comentado, la investigación filosófica sistemista que aparece en Bertalanffy aparece poco perfilada hasta los trabajos de Ervin Laszlo (1972), quien considera los sistemas desde una perspectiva esencialmente funcional, distinguiendo claramente entre sistemas naturales y sistemas cognitivos.

Desde Bunge puede comenzarse por una definición genérica y clasificación básica de los sistemas: “un sistema, entonces, es un objeto complejo cuyos componentes están interrelacionados en lugar de aislados. Si los componentes son conceptuales, también lo es el sistema; si son concretos, o materiales, constituyen un sistema concreto (o material). Una teoría es un sistema conceptual, una escuela es un sistema concreto perteneciente a la clase de los sistemas sociales. Estos son los dos únicos reinos que reconocemos: el concreto y el conceptual. No nos son útiles los sistemas mixtos (...).” (Bunge, [1979] 2012: 29).

La clasificación de los tipos de sistemas en Bunge sigue un proceso de transformación a lo largo del tiempo. En los primeros trabajos, los tipos de sistemas en Bunge (1979) se limitan a dos: sistemas concretos o materiales, y sistemas abstractos o conceptuales. Más adelante, Bunge (2002: 20) identifica “sistemas de tres tipos: materiales, conceptuales y semióticos”. Posteriormente, en Bunge (2004) se identifican hasta cinco tipologías (en un sentido muy amplio): sistemas químicos, sistemas biológicos, sistemas sociales, sistemas tecnológicos, y sistemas semióticos.

Junto a esta tipificación (de acuerdo con la naturaleza) de los sistemas, puede exponerse los tipos de estructuras de sistemas, considerados por los distintos autores. Aquí podríamos distinguir las estructuras sistémicas de tipo funcional (Laszlo), de carácter lineal secuenciado, las estructuras sistémicas de acciones (Quintanilla), y las estructuras sistémicas composicionales (Bunge). Como se verá más adelante, son estas estructuras sistémicas bungeanas, bien bajo el modelo sistémico CES (componentes, entorno y estructura) o bajo el modelo sistémico CESM (componentes, entorno, estructura y mecanismo), las que tendrían

un mayor potencial metodológico de cara a una elucidación filosófica de las actividades tecnológicas.

3.2.2.2 Modelización de sistemas

Una vez que se identifica el tipo y estructura ¿Cómo puede modelizarse un sistema?

En el volumen *Ontología II: Un mundo de sistemas*, Bunge (1979/2012) destina un detallado apéndice (A) al tratamiento de los modelos de sistemas, y un apéndice (B) específico para los modelos de cambio. El primero de ellos, de acuerdo con el autor, incluye el repaso y análisis filosófico de algunos modelos simples de los sistemas concretos, independientemente de la naturaleza de sus componentes, con los objetivos de aclarar conceptos clave, proveer de ejemplos y discutir algunos problemas de la todavía inmadura filosofía de la teoría de sistemas. Entre los modelos de sistemas, se consideran tanto los modelos de entradas y salidas, como los modelos de caja gris. Estos modelos son muy sencillos, hasta el punto de que pueden considerarse una simplificación del modelo composicional CES bungeano.

En el apéndice B, modelos de cambio, se presentan las cuestiones relevantes de modelos cinemáticos, modelos dinámicos, y modelos de cambio cualitativo. Este tipo de modelos precisa de una información excesivamente detallada, y de un conocimiento de los elementos y relaciones que, en principio, va mucho más allá de las necesidades y requerimientos que se le pueden pedir a un primer modelo básico de elucidación de las actividades tecnológicas.

Como puede observarse apenas se encuentra información de modelización de sistemas en el ámbito de la investigación filosófica. Por este motivo, los modelos de sistemas tendrán que ser bien reconstruidos a partir de sus descripciones, o bien importados de otras áreas del conocimiento, como se ha visto en el apartado de métodos tecnológicos e ingenieriles.

La elaboración del modelo es precisamente objeto del diseño de elucidación, tanto en el nivel de actividades tecnológicas como en el subsiguiente de actividades tecnológicas ingenieriles. Como se observará, finalmente la base del modelo de las actividades tecnológicas estará próxima a la estructura tipo CES ampliado, esto es la estructura CESM bungeana.

3.2.2.3 Representación de sistemas

¿Cómo se están representando los sistemas? Podría considerarse que la representación de sistemas está en una fase de desarrollo intermedia.

En Bunge ([1979] 2012: 44-53) se trata con cierto detalle sobre la representación de sistemas. La primera parte se dedica al acoplamiento de grafos y matrices como dos formas estándar y equivalentes de representar sistemas con una composición numerable, como se observa en la figura adjunta.

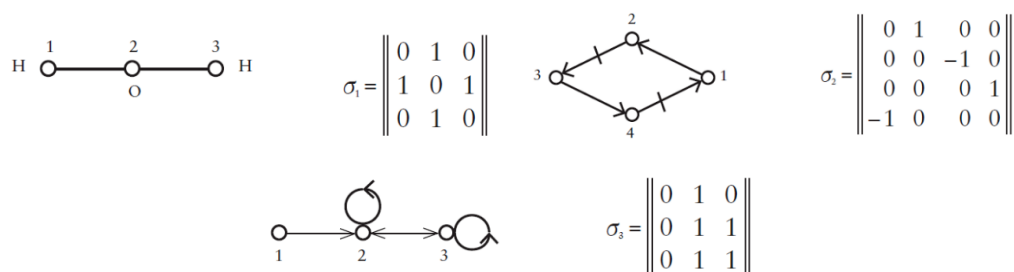


Fig. 3.2.2.a) Secuencia de representación de grafos y matrices (en Bunge, 1979/2012: 44-45): las flechas indican estimulación; las flechas tachadas, inhibición; los bucles indican la acción sobre sí mismo (o retroalimentación).

La segunda parte del mencionado trabajo se centra en la representación del espacio de estados de los sistemas de una clase dada, a lo que se acompañan dos representaciones gráficas de interés: el espacio de estados legal de sistemas; y dos procesos, como cambios de estado de sistemas.

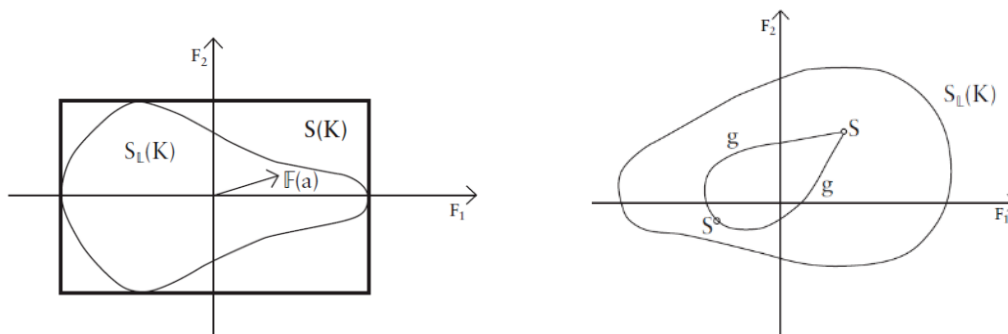


Fig. 3.2.2.b) Espacios de estado legal de sistemas (izda) y procesos diferentes (cambios de estado) en sistemas (dcha) (en Bunge, 1979/2012: 50 y 52)

De acuerdo con Quintanilla (2005: 157-158), para un sistema S formado por un conjunto de componentes concretos del sistema (S), “una forma usual de representar un sistema es asignar valores numéricos en el conjunto R de los números reales a las funciones F_1, \dots, F_n que representan las propiedades del sistema tomando un marco de referencia M (y en ocasiones un intervalo temporal T que nos permite representar la *duración* del sistema) que es otro sistema concreto, respecto al cual se asignan valores a las variables o propiedades F_1, \dots, F_n del sistema. De manera que una forma más completa de representar un sistema [sin su entorno] sería: $S = \langle S, T, M, R, F_1, \dots, F_n \rangle$ ¹⁷⁹

Respecto a esta representación, el autor señala que a salvo de que cuando sea necesario se hagan referencias al intervalo temporal o al sistema marco de referencia, la fórmula que se utilizará para representar un sistema será $S = \langle S, F_1, \dots, F_n \rangle$

La literatura filosófica, también para el caso de la filosofía de sistemas, presenta una escasez notable de representaciones gráficas de sistemas. Aunque hay algunos ejemplos contados, el uso de las representaciones gráficas no va más allá de lo puntual, de modo que este tipo de representaciones están lejos de una formalización. Pueden observarse, entre estos ejemplos, además de las que se han presentado ya más arriba, otras diferentes representaciones que aparecen en Bunge ([1979] 2012).



Fig. 3.2.2.c) Ejemplo (1) de representación gráfica de sistemas: dos sistemas que tienen la misma composición, pero con estructuras y entornos diferentes (en Bunge, 1979/2012: 32).

¹⁷⁹ Dado que pudiera haber un error tipográfico en la edición de 2005, se ha utilizado la expresión original de 1989, de modo que: $S = \langle S, T, M, R, F_1, \dots, F_n \rangle$, en donde S es el sistema y S el conjunto de componentes del sistema.



Fig. 3.2.2.c). Ejemplo (2) de representación gráfica de sistemas: un sistema de dos componentes con tres estructuras internas posibles (en Bunge, 1979/2012: 33).

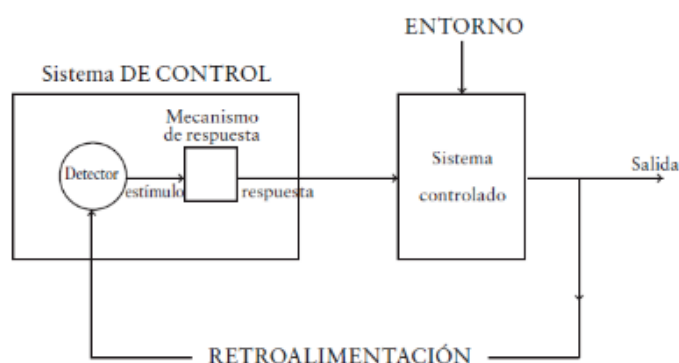


Fig. 3.2.2.c) Ejemplo (3) de representación gráfica de sistemas (en Bunge, 1979/2012: 333): sistema de control por retroalimentación.

Para la cuestión de la representación de sistemas, como se hizo en el caso anterior (modelos de sistemas) puede recurrirse, más allá de los materiales filosóficos, a las técnicas de representación de sistemas que se utilizan, por ejemplo, en tecnología e ingeniería. Como se ha observado entonces, la representación de sistemas (o de modelos de sistemas) responde al estadio en que se encuentra el mismo, entre un estadio inicial de conceptualización y uno final de formalización. En todo caso, en trabajos como el de Aracil y Gordillo (1997) se hace referencia a dos tipos: diagramas de influencias; y diagramas de Forrester.

Lo expuesto puede llevar a dos conclusiones provisionales. Por una parte, la de que no se cuenta, ni siquiera dentro de una misma obra, con recursos gráficos comunes y reconocibles para la representación (desde el análisis filosófico) de sistemas¹⁸⁰. Mientras que por otra parte, puede observarse –no solamente a partir de los ejemplos presentados– la potencialidad del uso de recursos gráficos en un proceso de elucidación filosófica sistémica. En este sentido, en el planteamiento metodológico que le estoy dando a esta investigación, me permito concederle una importancia singular a los recursos gráficos.

Es por esta razón que a lo largo de la ruta elucidatoria que voy a seguir, procuraré acompañar a las descripciones y formalizaciones de sistemas, también de representaciones gráficas de los propios sistemas. Unas representaciones gráficas para las que, en lo posible, intentaré mantener los símbolos que tengan una aceptación y uso amplio, junto tanto con símbolos como con colores que vayan dotando de un significado progresivamente más completo a las representaciones gráficas.

¹⁸⁰ Una vez que estamos fuera del campo de investigación filosófica, tampoco puede decirse que la representación gráfica de sistemas esté desarrollada. Más bien, en cada parcela del conocimiento científico o tecnológico se vienen usando una serie de símbolos, que tampoco están unificados. Sirva como ejemplo el hecho de que la representación de sistemas concretos ingenieriles pueda hacer referencia al menos a cuatro esquemas normalizados diferentes de simbología gráfica: ISO, etc...

3.2.3 Modelo sistémico bungeano en una elucidación filosófica de tecnologías

El enfoque sistémico de las tecnologías está presente en autores como Bertalanffy, Laszlo, Simon, Bunge, o Quintanilla. En todos estos autores hay cuestiones que tienen indudable interés para las investigaciones filosóficas sobre tecnología. Sin embargo, considero que el enfoque sistémico más detallado está sugerido en distintos trabajos de Bunge, de modo que es –junto con el ya expuesto núcleo teórico de elucidación derivado de las propuestas de Quintanilla– desde donde voy a recoger fundamentalmente las propuestas de enfoque sistémico para una elucidación filosófica sistémica.

Así, esta concepción sistemista, de inspiración esencialmente bungeana, se traduce en una serie de características que deben presentar los progresivos modelos sistémicos de elucidación filosófica que van a elaborarse. Para ello me baso en: (i) la definición de sistema y clasificación de los mismos que realiza Bunge (1979/2012, 2002, 2004); (ii) en la ubicación del sistema de tecnologías dentro del ámbito de los supersistemas sociales (Bunge, 1979, 1985); (iii) en los elementos que caracterizan un sistema (Bunge, 2002, 2004); (iv) en la identificación de los elementos de un tecnosistema o sistema tecnológico (Bunge, [1979] 2012); y (v) en el conjunto de aspectos que pueden llegarse a conocer de un sistema y el orden de clarificación de los elementos del sistema (Bunge, 1985).

Puede comenzarse por una definición genérica y clasificación básica de los sistemas: “un sistema, entonces, es un objeto complejo cuyos componentes están interrelacionados en lugar de aislados. Si los componentes son conceptuales, también lo es el sistema; si son concretos, o materiales, constituyen un sistema concreto (o material). Una teoría es un sistema conceptual, una escuela es un sistema concreto perteneciente a la clase de los sistemas sociales. Estos son los dos únicos reinos que reconocemos: el concreto y el conceptual. No nos son útiles los sistemas mixtos (...).” (Bunge, [1979] 2012: 29).

La referencia básica sobre sistemas (concretos) y, específicamente, sobre sistemas sociales (entre los que se cuentan los sistemas tecnológicos), se encuentra en el volumen 4 (*Ontología II: un mundo de sistemas*) del *Tratado de Filosofía* de Mario Bunge [1979] (2012). En este volumen, tienen especial interés el capítulo 1 (los sistemas), así como el capítulo 5 (la sociedad) dedicado a los sistemas sociales.

Bunge establece la relación directa entre la noción de sistema y la de tecnología, planteando que un sistema es un tecnosistema si: (i) su composición incluye a seres humanos y artefactos; (ii) su entorno incluye componentes de una sociedad; y (iii) su estructura incluye la producción, mantenimiento o utilización de artefactos (*cfr* Bunge, [1979] 2012: 266).

Con el tiempo, el modelo sistémico inicial de Bunge (1979, 1985) que identificaba tres elementos (componentes, C; entorno, E; y estructura, S) y que por tanto se denomina CES, pasará a considerar cuatro elementos. Así, en Bunge (2002, 2004) aplica lo que denomina ‘enfoque CESM’, en donde la investigación de un sistema concreto requiere la construcción de un modelo que consiste en la descripción de la composición (C), el entorno (E), la estructura (S) y el mecanismo (M) del sistema. De modo que la composición (C) del sistema es la colección de sus partes, que sigue denominando componentes. El entorno (E) es la colección de cosas que modifican a los componentes del sistema o que resultan modificados por ellos, pero que no pertenecen a la composición. La estructura (S) es la colección de relaciones o vínculos que establecen los componentes. Los vínculos que se dan entre los componentes de un sistema constituyen la endoestructura, mientras que los establecidos entre los componentes y elementos del entorno conforman la exoestructura del sistema. Finalmente, el mecanismo (M) del sistema es la colección de procesos que se dan dentro de un sistema y que lo hacen cambiar en algún aspecto.

En lo que se observa, el enfoque sistémico CESM de Bunge completa la estructura de los modelos de sistemas al establecer una distinción entre las relaciones (tanto endoestructurales como exoestructurales) y los procesos.

El enfoque sistémico CESM de Bunge importa para determinar los aspectos que deben tenerse en cuenta a la hora de describir un sistema, pero no agota las posibilidades de conocimiento del sistema. En este sentido, para Bunge ([1979] 2012: 34): “El conocimiento exhaustivo de un sistema incluiría los siguientes elementos: (a) la composición, el entorno y la estructura del sistema [a lo que se añade, en cuarto lugar, el mecanismo del sistema, a partir de Bunge, 2002]; (b) la historia del sistema (en particular si se trata de un biosistema o un sociosistema); y (c) las leyes del sistema.” Si bien el autor advierte de la dificultad de alcanzar tal grado de conocimiento para los sistemas complejos, por lo que resultaría suficiente la caracterización del apartado primero. También interesa en este punto cuando Bunge sugiere el orden de clarificación de los elementos del sistema: primero los componentes, después el entorno y finalmente la estructura (relaciones).

Por otra parte, ya se ha comentado que el proceso de elucidación filosófica planteado se va a realizar según una secuencia progresiva, descendente, desde el nivel más alto (tecnologías), hasta el de mayor detalle (ingeniería ambiental sanitaria), pasando por un nivel intermedio (ingenierías). Esta idea de estratificar los modelos de elucidación es conforme a las precauciones que señala Bunge (2004: 58): “a pesar de su apariencia sencilla, un modelo CESM resulta inmanejable en la práctica, dado que exige el conocimiento de todas las partes del sistema y de todas sus interacciones, así como de sus relaciones con el resto del mundo. En la práctica, se utilizan las nociones de composición, entorno, estructura y mecanismo *en un nivel dado*.” De esta manera, a la hora de tomar un conjunto dado (por ejemplo, de los componentes) de todas las partes del sistema, en la práctica sólo se tomaría el conjunto de partes de la clase correspondiente al nivel de elucidación.

De acuerdo con lo expuesto, el modelo sistémico bungeano, tanto el CES como el CESM (o ampliado) se toman como punto de partida válido para una interpretación sistémica de las actividades tecnológicas. No obstante, esto no significa que sean los únicos modelos posibles ni que la interpretación sistémica –como se verá más adelante– no tenga que recurrir adicionalmente a otros modelos sistémicos diferentes.

3.3 MÉTODO Y MODELO PARA UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA

3.3.1 Caracterización de elementos presentes en una tecnología (Bunge, 1985)

Previamente, tomando Quintanilla (2005) como punto de partida, se han presentado las cuestiones de interés y las nociones básicas, según tres áreas (ontología, epistemología y axiología), que deben considerarse de cara a investigaciones filosóficas en tecnología. Como se ha visto, ese núcleo teórico nos permite disponer de una suerte de base cartográfica de los dominios en esas tres áreas (tal y como se ha intentado representar gráficamente), así como los conceptos más relevantes que aparecen en cada una de esas tres áreas.

A continuación se han observado el conjunto de las áreas de investigación filosófica que pueden resultar más adecuadas para elucidar una tecnología, lo que ha permitido identificar cuatro campos mayoritarios (ontológico, epistemológico, metodológico y ético-axiológico), a los que puede sumarse el praxiológico. Esto va sirviendo para demarcar tanto el ámbito general de la elucidación de una tecnología como para identificar los territorios (disciplinas) que deberían investigarse para obtener conceptos relevantes e identificar sus relaciones.

Sin embargo, aunque podría decirse que se va mejorando el conocimiento de esos territorios y, por tanto, la capacidad para obtener esos conceptos y relaciones, aún faltaría por saber cuáles son los elementos, o mejor dicho, cuál sería el conjunto mínimo de elementos que podría caracterizar una tecnología. Para esta misión, creo que se tiene que acudir a las caracterizaciones de tecnologías realizadas por Mario Bunge (1979, 1985) en diferentes volúmenes de su *Tratado de filosofía*.

Hay una primera caracterización de la tecnología, importante, pero sencilla en cuanto a su descripción, como es la que realiza en el volumen “Ontología II. Un mundo de sistemas” (Bunge [1979] 2012). Ahí plantea que un sistema, siguiendo su modelo sistémico CES (componentes-entorno-estructura), es un tecnosistema si: (i) su composición incluye a seres humanos y artefactos; (ii) su entorno incluye componentes de una sociedad; y (iii) su estructura incluye la producción, mantenimiento o utilización de artefactos.¹⁸¹

Esto sería, para dar cuenta de una tecnología, un modelo sistémico de mínimos, en donde sólo se encontrarían los componentes concretos o materiales de una tecnología. Así, el ámbito filosófico de investigación se limitaría al campo ontológico, y dentro de éste a los objetos de naturaleza material¹⁸², pero no a los conceptuales. Se observa que esta caracterización no incluye elementos propios del campo epistemológico, ni del campo metodológico, ni tampoco del campo ético-axiológico de una tecnología, por lo que no podría considerarse satisfactoria como caracterización general de una tecnología¹⁸³.

Más adelante, Bunge (1985) va a abordar una caracterización completa de una tecnología¹⁸⁴, aunque en este caso ya no la vincula a un modelo sistémico (tipo CES), sino que lo hace mostrando los diversos elementos (una once-tupla) que conformarían una tecnología.¹⁸⁵ En esta ocasión, a diferencia de la caracterización de elementos de un

¹⁸¹ Cfr. Bunge, M. [1979] (2012): *Ontología II. Un mundo de sistemas*, en *Tratado*, ed. castellana, Gedisa, p. 266.

¹⁸² Como se estudia con más detalle, Bunge plantea la exigencia de que un sistema sean bien concreto o bien conceptual, rechazando los sistemas mixtos en los que pudieran encontrarse componentes concretos junto a componentes conceptuales.

¹⁸³ Esta caracterización de tecnosistema se correspondería básicamente con lo que estoy denominando ‘sistema (material) de campo ontológico de una tecnología’. Esto es, sólo con el dominio material de una tecnología.

¹⁸⁴ Aunque en su propuesta original (en lo que se me alcanza) en Bunge (1985) se presentan los elementos que caracterizan una tecnología, más adelante convertirá esos elementos (Bunge, 2002: 33), con la salvedad de V (valores), en característicos tanto de tecnologías como de ciencias. Véase Bunge (2002): *Ser, saber y hacer*, Ed. Paidós-UNAM.

¹⁸⁵ El hecho de que no se cuente con un modelo sistémico integrado que permita una caracterización de una tecnología es la razón por la que esta elucidación filosófica haya tenido que partir del nivel alto (familia) de tecnologías para descender hasta la elucidación de una concreta ingeniería. Al revisar la obra de Bunge, daría la impresión que en relación con la tecnología

tecnosistema, podrá observarse que Bunge incluye no solamente elementos propios de un campo ontológico, sino también del campo epistemológico, del campo metodológico y del campo ético-axiológico.

Esta caracterización se encuentra en el volumen 7 (Gnoseología y metodología III: filosofía de la ciencia y de la técnica) del *Tratado de Filosofía* de Mario Bunge (1985). Se encuentra, más concretamente, en la parte II “Ciencias de la vida, ciencias sociales y tecnología”, y dentro de ésta en el capítulo V “Tecnología. De la ingeniería a la teoría de decisión”, y dentro de aquel capítulo en el apartado de “Tecnología” (p. 231 y ss.). Aquí, Bunge caracteriza detalladamente una familia de tecnologías como un sistema donde cada tecnología miembro, T, puede representarse por once elementos.

Este modo de caracterización múltiple de Bunge es fruto de una manera de ver la tecnología como algo que pretende modificar el mundo, pero sobre todo porque (como en la ciencia fáctica) “son objetos culturales a tal punto complejos que no puede describirse los adecuadamente con una sola frase, como suelen hacerlo los filósofos. Propongo la siguiente caracterización: (...)”

En el apartado a que se hace referencia, Bunge desgrana los diferentes once elementos, incluyendo posteriormente comentarios y ejemplos que son útiles para una mejor comprensión de los mismos. Dada la importancia de estas referencias para la posterior elaboración del modelo de elucidación filosófica, he creído conveniente trasladarlas en su integridad al texto para facilitar sus remisiones¹⁸⁶.

Así, de acuerdo con Bunge (1985), una familia de tecnologías es un conjunto o sistema en donde cada tecnología **T**¹⁸⁷, estará representada por:

$$\mathbf{T} = \langle \mathbf{C}, \mathbf{S}, \mathbf{D}, \mathbf{G}, \mathbf{F}, \mathbf{B}, \mathbf{P}, \mathbf{K}, \mathbf{A}, \mathbf{M}, \mathbf{V} \rangle \quad (\text{Bunge, 1985: 231})$$

en donde, para cualquier momento dado:

C, la *comunidad profesional* de T, es un sistema social compuesto por personas que han recibido capacitación especializada, tienen vínculos de información entre ellas, comparten ciertos valores e inician o continúan una tradición de investigación, diseño, planificación o evaluación de artefactos de algún tipo. [p. 231]. La comunidad profesional de una tecnología (por ejemplo, la comunidad médica) es un sistema propio, no un individuo aislado o un agregado de solitarios. (Esta característica contrasta con el inventor tradicional autodidacta y aislado.) Esta sistematicidad está garantizada por sociedades profesionales y publicaciones. Sin embargo, las comunidades tecnológicas no son tan abiertas ni tan internacionales como las comunidades científicas, porque las patentes, así como el secreto industrial y militar, limitan la circulación del conocimiento tecnológico y los conocimientos técnicos en detrimento de la cooperación internacional. La razón de esto es, por supuesto, que la tecnología, a diferencia de la ciencia básica, es una mercancía: las patentes y los secretos se pueden tener a precio de saldo. [p. 233].

avanza en el mismo sentido pero con dos vías que no acaban de encontrarse: una de caracterización como tecnosistema concreto, y otra de caracterización de los elementos que representan una tecnología. El punto nodular de esta investigación se encuentra precisamente en la necesidad (como modelo de elucidación sistémico) de proponer (a partir de los fundamentos bungeanos) un modelo sistémico integrado para caracterizar una tecnología dada.

¹⁸⁶ En la traducción he optado por mantener (en este apartado) las letras iniciales con que Bunge identifica los diferentes elementos. Más adelante utilizaré una nueva notación, con las iniciales en castellano y otros elementos, para identificar los distintos elementos de una tecnología.

¹⁸⁷ Aunque no figura así en el texto original, siguiendo la práctica de autores como Quintanilla, se destacará con negrita cuando se está identificando un sistema, como es el caso.

S es *la sociedad* (completa con su entorno [ambiente], economía, política y cultura) que aloja C y alienta o al menos tolera, las actividades profesionales de los miembros de C; [p. 231]

El *dominio* D [o referentes] de T está compuesto exclusivamente por entidades (certificadas o putativamente) reales, pasadas, presentes o futuras, algunas naturales y otras artificiales. [pag. 232] El dominio o universo del discurso D de cualquier tecnología contiene no solo cosas naturales sino también artefactos como puentes y planos, herramientas y máquinas para construirlos. [pag. 234]

La *perspectiva general* o el *trasfondo filosófico* G de T consiste en: (a) una ontología de cosas legalmente cambiantes, en particular de cosas bajo control humano; (b) una epistemología realista con un toque de pragmatismo; y (c) el ethos de la utilización de los recursos naturales y humanos (particularmente los recursos cognitivos) [p. 232]. El trasfondo filosófico G de la tecnología a menudo se subestima o incluso se pasa por alto. Sin embargo, no hay tecnología sin esto. Para empezar, la tecnología comparte con la ciencia muchos de sus conceptos básicos, como los de cosa y propiedad, sistema y proceso, espacio y tiempo, causalidad y aleatoriedad. En segundo lugar, al hacer una investigación, el técnico hace un uso tácito de una serie de principios ontológicos y epistemológicos, como los de legalidad y cognoscibilidad, que comparte con el científico básico. Sin embargo, al tener una mente práctica, no está interesado principalmente en cosas en sí mismas sino en cosas para nosotros y nuestro control, como: en relojes más que en relojes radioactivos, en trayectorias de módulos lunares en vez de planetas, en cultivos en lugar de en plantas silvestres, en la escolarización formal en lugar del aprendizaje informal, en los programas sociales en lugar del *laissez-faire*, y así sucesivamente. Para el tecnólogo, lo que está fuera de su alcance práctico, está fuera de la mente. Es básicamente pragmático, lo que no implica que adopte una epistemología subjetiva. Está impaciente por alcanzar la verdad objetiva solo como un medio para el diseño o la planificación. La perspectiva general del tecnólogo también tiene un componente ético peculiar: su ethos no es el de la investigación libre y desinteresada al servicio de la humanidad, sino el del trabajo orientado a tareas. Dado que es su empleador o cliente quien establece la tarea del tecnólogo, este último usualmente adopta el código de conducta del primero. Puede sentirse libre de usar, sin dar el crédito apropiado, cualquier información que haya obtenido de otros, mientras que al mismo tiempo se niega a compartir cualquier conocimiento nuevo que pueda obtener por sí mismo. Puede que no tenga reparos en diseñar artefactos que creen deseos en lugar de satisfacer necesidades, e incluso en diseñar dispositivos para asesinatos. Es cierto que algunas sociedades profesionales han adoptado códigos de conducta, pero la mayoría son bastante suaves y no dicen nada sobre el valor social de las innovaciones tecnológicas. Sin embargo, el *ethos* de la tecnología tiene una intersección no vacía con la ciencia: ambos promueven la búsqueda de la verdad (que implica la corrección del error) y la justificación de la creencia (lo que implica el rechazo del dogmatismo). [pag. 234]

El *trasfondo formal* F de T es una colección de teorías lógicas y matemáticas actualizadas [pag. 232]. El trasfondo formal de una tecnología es un indicador (ambiguo) de su grado de desarrollo y sofisticación. Por lo tanto, hasta hace poco la gestión era una técnica precientífica, pero hoy en día se está estudiando por una ciencia de la administración de la sociotecnología que emplea sofisticadas herramientas analíticas y de procesamiento de la información, desde estadísticas hasta modelos matemáticos. [pag. 234-235]

El *trasfondo específico* B de T es una colección de datos, hipótesis y teorías actualizadas y razonablemente bien confirmadas (aunque corregibles) de métodos de investigación efectivos y razonables, y de diseños y planes útiles, encontrados en otros campos del conocimiento, particularmente en ciencias o tecnologías

relacionadas con T. [pag. 232]. El volumen del fondo específico B de una tecnología es otro indicador de su grado de desarrollo. Cada tecnología tiene una o más ciencias de apoyo. Por ejemplo, la biotecnología presupone la biología, que a su vez presupone la química, que se basa en la física, que es apoyada por las matemáticas. Cuantas más deudas tiene una tecnología, más crédito merece. [pag. 235]

La *problemática* P de T consiste exclusivamente en problemas cognitivos y prácticos concernientes a los miembros del dominio D, así como en problemas relacionados con otros componentes de T que definen los once elementos. [pag. 232] La problemática P de una tecnología puede ser tan amplia como sus trabajadores lo deseen. En cada tecnología, podemos distinguir los siguientes tipos de problemas:

(a) problemas de dominio, como "¿Sobre qué es la ingeniería: máquinas o sistemas hombre-máquina?" Y "¿De qué se trata en la investigación de operaciones: decisiones de gestión u organizaciones complejas, en particular sistemas sociotécnicos?";

(b) problemas filosóficos, como "¿Cuáles son las diferencias entre artefactos y cosas naturales?" "¿La orientación pragmática del tecnólogo es compatible con el realismo científico?", o "¿Está el tecnólogo moralmente justificado para diseñar en los sociosistemas con el objetivo de maximizar el lucro?";

(c) problemas de formación formal, como "¿La tecnología tiene uso para cualquier sistema de lógica que no sea la lógica ordinaria?" y "¿Son las teorías matemáticas sin ningún posible uso tecnológico?";

(d) problemas de antecedentes específicos, tales como "¿Cuánta física atómica y nuclear necesita la ingeniería actual?" y "¿Cuáles son los presupuestos biológicos, psicológicos y sociológicos de un código de derecho dado?";

(e) problemas de problemática como "¿Este problema práctico está bien concebido y formulado?" y "¿Qué problemas de gestión vale la pena investigar hoy en día?";

(f) problemas de fondo de conocimiento, tales como "¿Por qué la arquitectura avanza tan lentamente?" o "¿La teoría de decisiones tiene una base sólida?";

(g) problemas de objetivos, tales como "¿debería el tecnólogo innovar en aras de la novedad?" y "¿cómo puede la industria de la guerra convertirse en una industria de la paz?";

(h) problemas metodológicos, como "¿Cómo puede medirse el rendimiento de un sistema (en particular, uno sociotécnico)?" y "¿Cómo se mide el riesgo?". [pag. 235]

El *fondo de conocimiento* K de T es una colección de teorías, hipótesis y datos actualizados y comprobables (no definitivos), así como de métodos, diseños y planes compatibles con el fondo específico B y obtenidos por los miembros de C en tiempos anteriores. [pag. 232] El fondo de conocimiento de una tecnología puede ser pequeño o grande, dependiendo del estado del arte, pero no puede estar vacío, o no sería una tecnología. La misma formulación de un problema técnico presupone algún fondo de conocimiento. Si no hay ninguno disponible, estaríamos tratando con una técnica o una prototecnología. [pag. 235]

Los *objetivos* A de los miembros de la comunidad profesional C incluyen inventar nuevos artefactos, nuevas formas de utilizar los antiguos y planes para realizarlos y evaluarlos. [pag. 232] Los objetivos de una tecnología incluyen el diseño (o rediseño) de artefactos y dibujos (o redibujados) de planes para su realización, en ambos casos con la ayuda de la ciencia. Sin diseño o ciencia, no hay tecnología. Por esta razón, los profesionales que utilizan los frutos de la I + D sin comprometerse con lo último no pueden llamarse apropiadamente «tecnólogos», aunque sin duda son expertos. [pag. 236]

La *metodología* M de T consiste exclusivamente en procedimientos escrutables (verificables, analizables, criticables) y justificables (explicables), en particular: el método científico (problema cognitivo-verificación de hipótesis-corrección final de la hipótesis o reformulación del problema), y el método tecnológico (problema cognitivo-diseño-prototipo-prueba-corrección del diseño o reformulación del problema). [pag. 232] Este último puede caracterizarse como la siguiente secuencia: Reconocimiento y formulación de un problema práctico - Diseño de cosa, estado o proceso que pueda resolver el problema hasta cierto punto de aproximación - Construcción de un modelo a escala y un prototipo (máquina, grupo experimental, pequeña escala programa social, o lo que sea en su caso) - Prueba - Evaluación - Revisión del diseño, prueba o problema. [pag. 236]

Los *valores* V de T consisten en una colección de juicios de valor sobre cosas o procesos naturales y artificiales, en particular materias primas y productos terminados, procesos de trabajo y organizaciones sociotécnicas. [pag. 232] Los juicios de valor en V resultan de evaluar cosas o procesos naturales o artificiales a la luz de los objetivos A. Ejemplos: "Esa cascada es buena para alimentar un generador eléctrico", "Esta planta eléctrica es buena para la comunidad". V debe distinguirse de los juicios de valor internos sobre el valor de cualquier componente del proceso de I + D, p.ej. problemas y diseños. Estos últimos constituyen la endoaxiología de la tecnología, mientras que V constituye la exoaxiología. V no tiene contraparte en ciencia básica. Por lo tanto, un geógrafo puede describir y conjeturar la formación de una cascada, pero no pasa ningún juicio experto sobre su valor para la generación de energía eléctrica. [pag. 236]

Además, respecto a las distintas tecnologías T miembro de la familia de tecnologías, Bunge (1985: 232) añade dos condiciones: "existe al menos otra tecnología contigua y parcialmente superpuesta con las mismas características generales que T; (...) la pertenencia a cada uno de los últimos nueve componentes de la T cambia con el tiempo, aunque lentamente, tanto como resultado de la I + D en T, como de los cambios en las tecnologías y ciencias relacionadas." Podría afirmarse que esta última consideración persigue tener en cuenta una consideración diacrónica de una tecnología que complete la consideración sincrónica que se alcanzaría mediante los once elementos previos.

Esta propuesta de Bunge (1985) nos presenta el repertorio de once elementos que pueden caracterizar una determinada tecnología¹⁸⁸. En mi opinión, resultaría ser una de las nóminas más completa de elementos con los que puede caracterizarse una tecnología dada. Al repasarse esos elementos se comprueba con cierta facilidad que ese conjunto reúne prácticamente todos los que necesitaría una actividad de tipo tecnológico. Sin embargo este conjunto de once elementos tan diversos no trasluce una estructura, ni responde a un modelo (sistémico, por ejemplo, como el caso CES visto antes), ni tampoco permite identificar con sencillez las disciplinas filosóficas que pueden estar presentes. De alguna forma, continuando con el símil de la cartografía, esta caracterización de elementos de una tecnología de Bunge sería como un inventario de los accidentes geográficos que permiten identificar un paisaje determinado, de modo que conviene escrutar con detalle estos once elementos.

¹⁸⁸ En la obra *Ser, saber, hacer*, Bunge (2002: 33) caracteriza una familia de ciencias o de técnicas como un conjunto donde cada uno de cuyos miembros es representable por una decatupla, en donde aparecen todos los elementos de esta propuesta excepto los valores (V). Puede suponerse que Bunge retira este último elemento de la propuesta de 1985 porque está asociado específicamente a las técnicas (o tecnologías), de modo que la propuesta de decatupla sería más amplia (para ciencia y técnica), mientras que la original (Bunge, 1985) serviría mejor a la representación de una técnica o tecnología. Por esta razón, mantengo la referencia a los once elementos que, como se verá es además más adecuada para explicar el modelo base que se propone para la elucidación filosófica de una tecnología.

Tabla 3.3.1.a) Elementos (11-tupla) que caracterizan a una tecnología (a partir de Bunge, 1985)

	ELEMENTO
C	Comunidad profesional
S	Sociedad
D	Dominio de entidades reales (naturales / artificiales)
G	Perspectiva general o trasfondo filosófico
F	Trasfondo formal (lógica y matemática)
B	Trasfondo específico (ciencias y otras tecnologías)
P	Problemática
K	Fondo de conocimiento de la tecnología
A	Objetivos de la comunidad
M	Metodología (métodos escrutable y justificables)
V	Valores

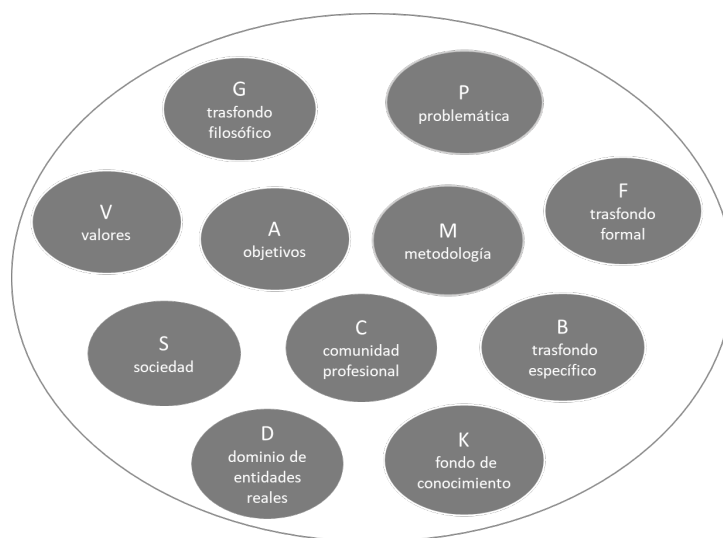


Fig. 3.3.1.a) Conjunto de elementos (11-tupla) de una tecnología (a partir de Bunge, 1985)

Una de las primeras cuestiones que se observa es que los elementos son de diferente naturaleza como, entre otros: sistemas concretos sociales (comunidad profesional C), entidades reales (dominio de entidades reales D), colecciones de objetos abstractos epistémicos (F, B, K), procedimientos (M), o también una colección de juicios de valor (V). Esta diversidad pone de manifiesto, en todo caso, la riqueza y complejidad de la tecnología como materia de investigación filosófica. De modo que esta nómina confirma el acierto de quienes (como Bunge), han criticado a los que sostienen que la tecnología tendría poco interés filosófico a causa de una supuesta debilidad teórica.

Sin embargo, cuando se analizan con más detalle los once elementos que caracterizan una tecnología (Bunge, 1985), pueden advertirse dos cuestiones importantes. En primer lugar, que la naturaleza de los elementos que pueden adscribirse a cada uno de esos tres campos, tiene una homogeneidad (son bien concretos o bien abstractos) de tal modo que, eventualmente, permitiría adscribirlos a un mismo sistema, manteniendo la separación concreto/abstracto prevista por Bunge. También se advierte que la mayor parte de los diferentes elementos se corresponderían al menos con uno de los tres campos filosóficos más conspicuos en la filosofía de la tecnología: ontología, epistemología y axiología (*cfr.* Quintanilla, 2005), al que se puede añadir la metodología.

Tabla 3.3.1.c) Tipos y áreas filosóficas de elementos de una tecnología según Bunge (1985)

	elemento (Bunge, 1985)	Tipo	Área filosófica
C	Comunidad profesional	Concreto	Ontología
S	Sociedad	Concreto	Ontología
D	Dominio de entidades reales	Concreto	Ontología
G	Perspectiva general o trasfondo filosófico	Abstracto	Ontología, epistemología y axiología
P	Problemática	Abstracto	Ontología, epistemología y axiología
F	Trasfondo formal	Abstracto	Epistemología
B	Trasfondo específico	Abstracto	Epistemología
K	Fondo de conocimiento	Abstracto	Epistemología
M	Metodología	Abstracto	Metodología [epistemología]
A	Objetivos de la comunidad	Abstracto	Axiología
V	Valores	Abstracto	Axiología

En la tabla adjunta se observa la correspondencia entre los elementos y las áreas filosóficas que permite establecer diferentes subconjuntos. Esta operación de clasificación que he realizado puede ayudar a poner de manifiesto una cierta estructura de este conjunto de elementos. A partir aquí, voy a intentar presentar una suerte de primera cartografía de áreas de investigación y elementos correspondientes, admitiendo que la 11-tupla bungeana reúne los elementos que, como mínimo, deben ser considerados para caracterizar una tecnología.

La cartografía más sencilla sería aquella en la que se definen dos subconjuntos en la que se separan (a partir de la tabla) un subconjunto de los elementos que incluyen objetos concretos o materiales (C, S, D), de los elementos (el resto) que son entidades conceptuales. A su vez, se entiende que la disciplina en que pueden tratarse mejor estos elementos concretos (C, S, D) sería la ontología, de modo que estos elementos podrían agruparse como un subconjunto. También la ontología puede ser el espacio para estudiar parte de otros elementos como el trasfondo filosófico (G) o la problemática (P) e incluso otras entidades abstractas que se incluyen en el resto de los elementos; pero sería una ontología de objetos abstractos de elementos que, como veremos, tienen unas disciplinas de reflexión filosófica más adecuadas. Podría entonces representarse al subconjunto de elementos (C, S, D), del dominio de entidades concretas, que se van a considerar como elementos propios del área ontológica. El resto de los elementos, como se observa, formarían parte del dominio de entidades abstractas.

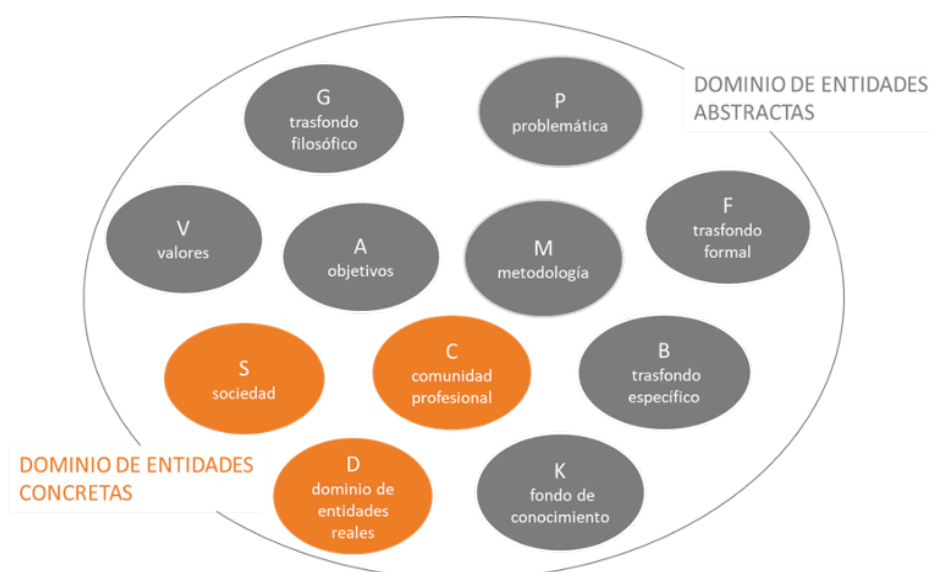


Fig. 3.3.1.b) Dominios de entidades del conjunto de elementos de una tecnología en Bunge (1985)

Esta sencilla cartografía es básica para una nueva diferenciación, a partir de la tabla expuesta. En primer lugar, el de los elementos (C, S y D) que ya han sido identificados más arriba y que formarían parte del subconjunto ontológico concreto¹⁸⁹. En segundo lugar, podría encontrarse el subconjunto de los elementos abstractos (conceptuales) que pertenecen al campo filosófico de la epistemología, y donde estarían al menos: el fondo formal (F), el fondo específico (B), y el fondo de conocimiento (K). También podría diferenciarse el subconjunto de entidades conceptuales que se reúnen como metodología (M). El cuarto de los subconjuntos estaría formado también por elementos abstractos (conceptuales), que pertenecen al campo filosófico de la axiología, y entre los que cuentan al menos: los objetivos de la comunidad (A), y los valores (V). A este conjunto se podrían sumar, al menos parcialmente, dos elementos más complejos, como son: la perspectiva general o trasfondo filosófico (G) y la problemática (P), que pueden incluirse en varios de los campos de investigación filosófica (ontología, epistemología y axiología).

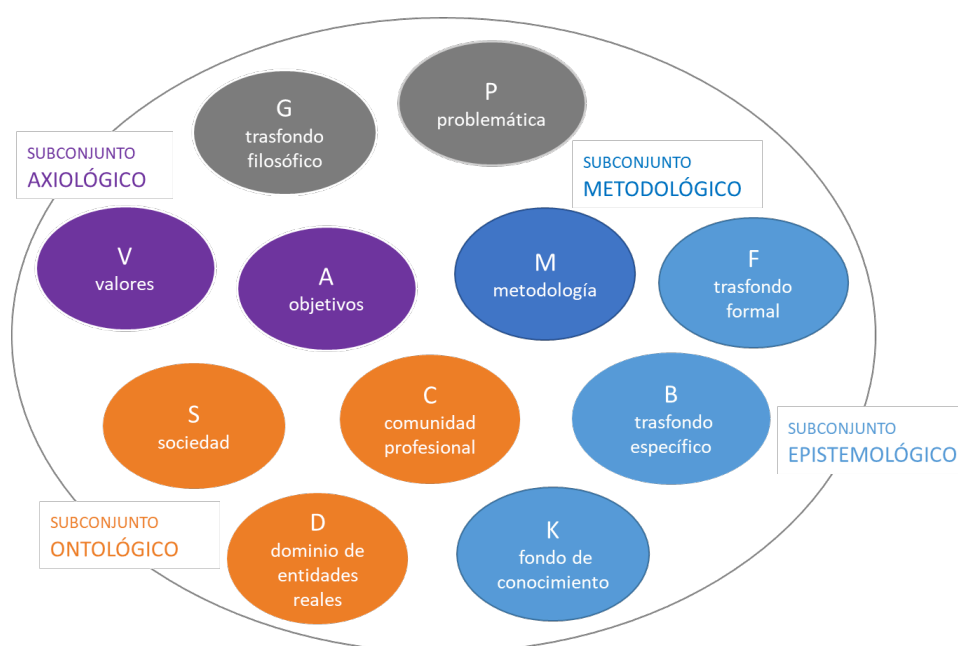


Fig. 3.3.1.c) Subconjuntos del conjunto de elementos de una tecnología en Bunge (1985)

De este modo, una tecnología dada podría estar caracterizada y representada por un conjunto de elementos (11) como los que se presentan en la figura adjunta, en donde los elementos aparecen agrupados por afinidad con áreas de investigación filosófica¹⁹⁰, en lo que voy a denominar como subconjuntos: (i) ontológico; (ii) epistemológico; (iii) metodológico; y (vi) axiológico.

¹⁸⁹ Debe señalarse que al incluir solamente los objetos concretos o materiales en el campo ontológico no se está rechazando la posibilidad de que un campo ontológico incluya objetos abstractos (o entidades abstractas constituidas), pero si se está predefiniendo un campo al fin de darle un enfoque sistémico que sea consistente con la restricción bungeana a la creación de sistemas mixtos (concretos y abstractos). Podría, como en adelante se hará, proponer que la denominación como sistema del campo ontológico precise que se refiere al sistema de objetos materiales del campo ontológico, dado que como objetos abstractos del campo ontológico podrían incluirse todos los objetos conceptuales que se incluyen, al menos, en los campos epistemológico y axiológico.

¹⁹⁰ Como se ha comentado, hay dos elementos (trasfondo filosófico y problemática) más generales, que participarían en las cuatro disciplinas que se contemplan, por lo que voy a optar por no asignarlas en este momento a ninguna de los subconjuntos diferenciados.

Como puede observarse, el subconjunto ontológico se correlaciona con el campo ontológico que se ha definido en el apartado anterior. Por su parte, el subconjunto epistemológico se correlacionaría con el campo epistemológico, el subconjunto metodológico con el campo metodológico y, finalmente, el subconjunto axiológico se correlacionaría con el campo ético-axiológico. Ya se ha anticipado que la condición de campo que estoy empleando tiene implícita la noción de sistema, de modo que esos campos van a ser considerados como ‘sistemas de campo’. Así, aunque todavía de forma embrionaria, podría decirse que esta última figura anticipa un sistema complejo, como resultado de un proceso que va a desarrollarse en el próximo apartado.

3.3.2 Discusión sobre un método integrado de elucidación filosófica sistemista

Desde el principio de este capítulo se ha señalado que su objetivo consiste en establecer unas bases de diseño para elaborar un modelo de elucidación filosófica de una tecnología, en primer lugar, y de una ingeniería a continuación, para finalmente abordar la elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria. En este apartado se pretende discutir y proponer un método de elucidación filosófica sistemista que permita alumbrar tanto la ruta elucidatoria en un nivel determinado como en el conjunto del proceso elucidatorio (tecnología > ingeniería > ingeniería ambiental sanitaria).

Para ello, llegado este punto, se dispone de información sobre diversos métodos, que se ha ido desgranando en los apartados precedentes, y de la que podemos destacar: (i) los modelos elucidatorios filosóficos de Carnap y el de Strawson; (ii) un método tecnológico, a partir de Lewin y Bunge; (iii) los métodos de elaboración de modelos ingenieriles conceptuales de Aracil y Gordillo, y de marcos conceptuales, de Jabareen; (iv) el núcleo metodológico de la filosofía de la tecnología de Quintanilla; y (v) los métodos que presuponen los modelos de sistemas, de tecnosistemas y de caracterización de tecnologías de Bunge.

Cada uno de estos enfoques metodológicos responde a un contexto y a un objetivo, que no siempre es el mismo, como se ha ido comprobando. Pero, a los efectos que se persiguen, de cada uno de esos enfoques se han ido extrayendo sus potencialidades de cara a la formación de un método de elucidación filosófica sistemista de tecnologías. Así, los supuestos metodológicos generales serían: (i) en atención a su valor tradicional se asume que el proceso de elucidación (como clarificación y delimitación conceptual) va a discurrir desde un punto inicial, como *explicandum*, hasta el punto final, como *explicatum*; (ii) entre los métodos considerados más completos se observa (véase la tabla adjunta) una pauta por la que el ciclo de la actividad conceptual se desarrolla en tres fases o tiempos; (iii) las exigencias que resultan de adoptar un enfoque sistémico pasarían por adoptar los postulados del sistemismo (*cfr.* Bunge, 2004: 149): (1) todo, sea concreto o sea abstracto, es un sistema o un componente, efectivo o potencial, de un sistema; (2) los sistemas poseen características sistémicas (emergentes) de las cuales sus componentes carecen, de donde surge que (3) todos los problemas deben ser abordados de un modo sistémico en lugar de sectorialmente, (4) todas las ideas deben integrarse en sistemas, y (5) la puesta a prueba de cualquier cosa, sea esta una idea, un método o un artefacto, supone la validez de los otros elementos, los cuales son tomados como puntos de referencia de manera provisoria.

Como se ha señalado, aunque cada uno de los métodos estudiados (elucidación filosófica, método tecnológico, método de modelos sistémicos y método de marcos conceptuales) responde tanto a unas necesidades concretas como a un marco conceptual determinado, creo que puede advertirse en su conjunto un cierto lineamiento metodológico, como se observa en la tabla adjunta.

Tabla 3.3.2.a) Fases más relevantes en diversos métodos de elucidación filosófica y tecnológicos

Carnap (1950)	Bunge (1985)	Lewin (1983)	Aracil y Gordillo (1997)	Jabareen (2008)
<i>Explicandum</i>	Problema: identificación y formulación	Especificación del problema	Conceptualización	Cartografía de documentación y categorización
[Elucidación s.s.]	Diseño	Estadio de síntesis: aproximación de solución	Formulación	Conceptos: identificación y denominación; integración y síntesis
<i>Explicatum</i>	Modelo	Estadio de análisis: elaboración de modelo	Evaluación	Validación y revisión del mapa conceptual

En este punto la propuesta que voy a someter a consideración como método de elucidación filosófica sistemista de tecnologías, tendría también los siguientes supuestos:

- (i) un método de elucidación filosófica de tecnologías podría relacionarse con las tres fases de conceptualización *ex ante* del método tecnológico, esto es con la secuencia problema-diseño-modelo;
- (ii) el *explicandum* puede relacionarse con la fase inicial, de definición y especificaciones del problema (de tipo inverso);
- (iii) a partir del *explicandum*, en la segunda fase (de elucidación en sentido estricto) se procede, mediante diseño (generando alternativas y seleccionando entre ellas) a buscar soluciones que puedan representarse como un modelo conceptual sistémico de una tecnología;
- (iv) el *explicatum*, se presentaría como un modelo formalizado en mayor o menor medida, capaz de responder satisfactoriamente a los requisitos establecidos.

A partir de todo lo anterior, se propone un método de elucidación filosófica sistémica para tecnologías. Como se ha dicho, este método constaría de tres fases principales, en cuya denominación se explicita esa correlación entre métodos elucidatorios filosóficos y métodos tecnológicos e ingenieriles sistémicos, de lo que resultan las fases: 1) *explicandum* (problema); 2) elucidación s.s. (diseño); y 3) *explicatum* (modelo).

3.3.2.1 Fase 1: *Explicandum* (problema)

El primer paso es la identificación y formulación de un problema práctico, que puede ser considerado como *explicandum*. En nuestro caso, la cuestión inicial es sobre la tecnología. La respuesta a lo que es la tecnología puede darse desde una concepción ‘ingenua’, a partir de un lenguaje ordinario, pasando por formulaciones técnicas (en lenguaje técnico especializado), hasta formulaciones filosóficas a través de una elucidación filosófica.

En este punto conviene insistir también en que los problemas de una elucidación filosófica –siguiendo también el correlato con los problemas de naturaleza tecnológica– sería un problema característico de tipo inverso. Por este motivo se ha señalado que la elucidación filosófica que se está elaborando y proponiendo sería solamente ‘una’ de entre múltiples posibilidades.

La formulación, el trabajo con el problema, no se limita a exponer el problema, sino que requiere un cierto grado de elaboración. Podría decirse en cierto modo que el *explicandum* no es el ‘problema en crudo’, sino que tiene un cierto grado de elaboración. Esta previsión está destacada por Carnap (1950: 4):

(...) examinemos un poco más de cerca la manera en que debe enunciarse el problema, es decir, en qué hay que dar el explicandum. Uno se siente tentado de pensar que, puesto que de todas maneras el explicandum no puede darse entérminos exactos, no interesa mucho la manera en que formulamos el problema. Para esto sería equivocado. Por el contrario, puesto que ni siquiera en el mejor de los casos podemos alcanzar una exactitud completa, afin de evitar que la discusión del problema se vuelva enteramente estéril, debemos hacer cuanto podamos para tornar al menos prácticamente claro lo que se entiende por el explicandum. (...) Aún cuando los términos en cuestión sean no sistemáticos, inexactos, hay medios para alcanzar un entendimiento mutuo relativamente bueno en lo que se refiere al significado intencional de esos términos. Una indicación del significado con ayuda de algunos ejemplos del uso que se propone y otros ejemplos de usos que ahora no se proponen puede ayudar la comprensión. Puede añadirse una explicación informal en términos generales. Todas las explicaciones de esta clase sólo sirven para aclarar el significado del explicandum; todavía no suministran una elucidación, por ejemplo, una definición del explicatum; todavía pertenecen a la formulación del problema, aún no a la construcción de una respuesta.

En este punto quisiera incluir, a los efectos metodológicos correspondientes, el interés de una noción que no se suele explicitar en los métodos filosóficos o técnicos, como es la ‘familiarización’. Un primer paso que sugieren Aracil y Gordillo (1997: 109) para construir un modelo: “familiarización con el problema [sistema] que se va a estudiar, que incluye el tratamiento de la literatura al respecto, opiniones de expertos, y experiencias propias”. La familiarización con la tecnología (como problema) supone un efectivo conocimiento de los autores, obras y, señaladamente, de los conceptos básicos o conceptos clave (tanto aisladamente, como en red) que caracterizan a la cuestión. Familiarizarse con la cuestión presupone también que se está avanzando desde los niveles más ingenuos o corrientes del conocimiento, pasando por las reflexiones sobre la tecnología desde la tecnología, hasta las reflexiones filosóficas sobre la tecnología.

Al estar en cierto modo familiarizado con una cuestión (tecnología), puede conocerse mejor el alcance de las definiciones, clasificaciones y problemática que existe sobre el tema. Y esto permite pasar a la siguiente acción, como sería el reconocimiento y la aclaración de la tecnología como *explicandum*. Entiendo que esta elaboración del *explicandum*, todavía en la formulación del problema, puede hacerse incluyendo una selección¹⁹¹ de: (i) definiciones más avanzadas en lenguaje técnico y filosófico; (ii) clasificaciones que enmarquen la tecnología, tanto en donde se encuentra (el nivel relativo que ocupa) como sobre qué tipo de actividades comprende; (iii) problemas filosóficos importantes que se debaten respecto a la cuestión de la tecnología.

Aquí puede recordarse que una cuestión fundamental de la elucidación, de acuerdo con Carnap (1950: 4), estriba en “cuáles son los requisitos de una solución satisfactoria de un problema de elucidación (esto es, los requisitos de un explicatum satisfactorio)”. Podría debatirse si el conjunto de las especificaciones y requisitos del *explicatum* deben tratarse bien en esta primera fase de identificación del problema, o en la fase segunda, del diseño elucidatorio, como sugiere Coffa. Esto depende del alcance que se le quiera dar a las especificaciones y requisitos. Pero ante la eventualidad de que estos puedan hacerse más complejos de acuerdo con el avance del proceso elucidatorio, creo que podría ser interesante

¹⁹¹ La selección de autores y obras para dar respuesta a los elementos que se señalan es una toma de posición, y hoja de ruta, respecto a la orientación que se le pretende dar a una determinada elucidación filosófica de la tecnología ingenieril.

disponer de un primer paquete de especificaciones y requisitos, más generales, que se incluirían en la primera fase, antes de iniciar la fase de diseño elucidatorio; y un segundo paquete de especificaciones y requisitos más en detalle, que sirvieran como criterios de selección de alternativas durante la fase segunda.

A partir de lo anterior, y combinando las distintas referencias metodológicas que se han comentado, este primer paso (*explicandum*) del método de elucidación, podría incluir las siguientes actividades: (i) identificación del problema (la tecnología como actividad), sus definiciones, alcance y clasificación, tanto en lenguaje ordinario como técnico; (ii) familiarización con el problema (como sistema conceptual), a través de documentación seleccionada, incluyendo la lectura extensiva, categorización de los datos e identificación de conceptos básicos o clave; (iii) reconocimiento y aclaración del problema (tecnología como *explicandum*) mediante una explicación informal en términos generales, incluyendo los problemas filosóficos de la tecnología; (iv) requisitos que deberá satisfacer la solución (*explicatum*) de la tecnología como *explicandum*.

3.3.2.2 Fase 2: elucidación en sentido estricto (diseño)

Esta sería la segunda de entre las fases generales enunciadas para el método elucidatorio como proceso que pueda resolver la cuestión (tecnología) hasta cierto punto de aproximación. En nuestro esquema de elucidación, se plantea que la fase de elucidación en sentido estricto (fase de diseño elucidatorio) permite definir los elementos y relaciones (estructura) de una actividad tecnológica dada, bajo unos criterios de adecuación. El conjunto de estos elementos y relaciones va a presentarse finalmente, como *explicatum*, formalizado como un modelo de sistema complejo.

Los procesos de diseño, aunque están en el corazón metodológico de las actividades tecnológicas, y en este caso también de la elucidación filosófica como técnica de investigación (filosófica), son enormemente difíciles de precisar. Siguiendo de nuevo a Carnap (1950: 5) “la tarea de la elucidación puede caracterizarse como sigue: si se da un concepto como *explicandum*, se trata de encontrar otro que sea su *explicatum*, que llene los siguientes requisitos en un grado suficiente.” Por eso quiero resaltar que la dificultad está precisamente en ese ‘tratar de encontrar otro que llene los requisitos’. De esto se observa, como se ha señalado más arriba, la importancia de los requisitos de la elucidación filosófica, y por tanto la necesidad de que nuestro proceso elucidatorio explicita previamente los requisitos generales de la elucidación, además de los propuestos por Carnap (1950).

En el presente caso se acude de nuevo a la analogía entre la elucidación filosófica y la actividad de diseño ingenieril. Así, en esta fase de diseño pueden seguirse las orientaciones metodológicas que sugiere Lewin (1983: 129) que establece un: “estadio de síntesis, de tipo creativo y en donde se aproxima una solución para el problema ingenieril, pero remarcando que no hay una solución única para el problema ingenieril, sino que depende de criterios y decisiones, hasta el punto de que la ingeniería puede considerarse esencialmente como un proceso de toma de decisiones”.

Puede entenderse que esta fase diseño agruparía una serie de procesos que tiene que ver fundamentalmente con cadenas de generación y de selección entre alternativas, desde las más importantes (cuya elección es más condicionantes cuanto más importantes son), para ir cayendo en un proceso en cascada hasta las alternativas de mayor detalle. El conjunto de las

alternativas puede identificar una ruta que quedaría marcada en lo que podríamos llamar un árbol de decisiones¹⁹².

Este tipo de diseño mediante generación y selección entre alternativas se ha venido utilizando precisamente a lo largo de estos dos capítulos, en donde se pretende disponer de las bases de un modelo de elucidación filosófica sistemista de tecnologías, y para ello se está llegando a elaborar –en el apartado siguiente– lo que será un modelo nuclear sistémico de una tecnología. Para llegar a este modelo se han tomado un conjunto de decisiones encadenadas (enfoques y estructura general; estructura y componentes; y componentes especificados).

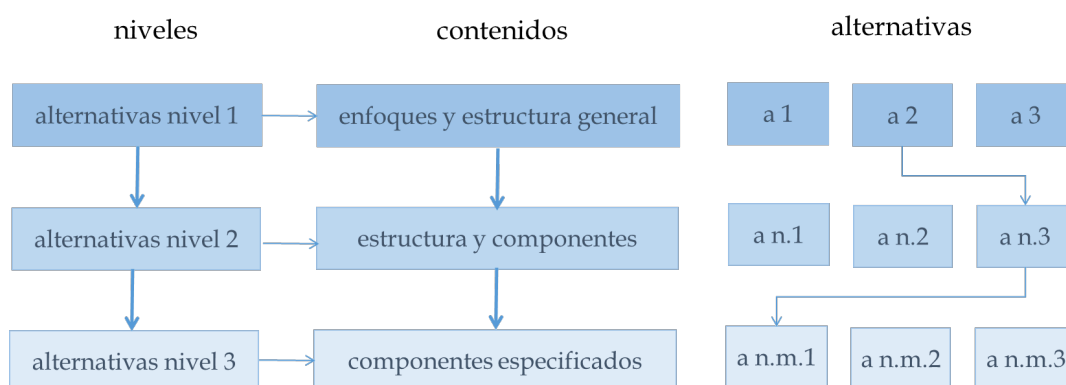


Fig. 3.3.2.b) Fase de diseño: alternativas en un árbol de decisiones para avanzar en un modelo sistémico

La conveniencia de disponer de ese modelo nuclear está presente en la propuesta de Aracil y Gordillo (1997: 109) para elaborar un modelo de sistema, en concreto en tres pasos de la fase de conceptualización: “particularizar el comportamiento dinámico relevante del sistema bajo estudio” (...) “a partir del conocimiento previo sobre estructuras simples de comportamiento de sistemas dinámicos”; “[particularizar] la estructura más simple que pueda generar este comportamiento”; e identificar “los distintos elementos que formarán el sistema”.

Por esta razón, y en este caso para simplificar el proceso elucidatorio, se plantea que la primera acción de esta fase sea partir de ya de un modelo nuclear sistémico de tecnologías. Voy avanzando que este modelo nuclear supone considerar la tecnología como un sistema complejo formado por cuatro sistemas de campo (ontológico, epistemológico, metodológico y ético axiológico) acoplados mediante elementos compartidos y sistemas semióticos, y cuyo mecanismo y dinámica se explica por sistemas funcionales praxiológicos. Este modelo nuclear supone, como se verá, que se asumen (implícitamente) una serie de especificaciones y requisitos.

Por otra parte, se ha señalado antes el interés que tiene disponer también en esta fase de un paquete de especificaciones y requisitos más detallados para la solución del problema. Dado que se están poniendo de manifiesto los paralelismos entre el diseño como parte de la técnica de elucidación filosófica y el diseño como parte de las tecnologías ingenieriles, parece pertinente traer a este punto las reflexiones de Cuevas (2008), en donde expone lo que serían,

¹⁹² En el gráfico de ejemplo las alternativas de nivel 1 (de enfoque y estructura general) serían, para el caso de la tecnología, las de su enfoque: desde la filosofía de la ciencia, de la filosofía de la tecnología, o de la filosofía de la ingeniería. Una vez decidido, como es el caso, que sea desde la alternativa de la filosofía de la tecnología, surgirían como alternativas de estructura general la propia de: filosofía humanista de la tecnología, filosofía ingenieril de la tecnología o filosofía contemporánea (analítica) de la tecnología, entre las que se seleccionaría la última. Y así siguiendo nivel a nivel. Este es el sentido del proceso de generación y elección entre alternativas, que es conforme con lo que plantea Lewin (1983) cuando afirma que el método tecnológico es una cuestión de decisiones.

pensando en una propuesta de axiología ingenieril, los valores deseables para los modelos de las ciencias tecnológicas: 1) consistencia interna, para no llegar a conclusiones contradictorias, como exigencia de racionalidad científica; 2) adecuación empírica, aunque con flexibilidad suficiente como para renunciar a dar resultados exactos a favor de cálculos que provean a los ingenieros de un espectro de resultados seguros; 3) fertilidad, en tanto que a partir de un conjunto relativamente pequeño de conceptos y principios teóricos los tecnólogos han de proporcionar conocimientos suficientes para la realización de los más diversos artefactos; 4) capacidad para evitar la aparición de resultados inesperados desfavorables, reforzando la valoración positiva de los futuros usuarios de esos modelos; 5) novedad, en tanto en que sean capaces de describir y explicar fenómenos que no habían sido objeto de investigación científica con anterioridad; 6) adecuación a la heterogeneidad ontológica, al tratar con diferentes clases de entidades donde no pretenda reducirlas ni idealizar sus características para que encajen en una categoría general, sino que propone caracterizaciones para el comportamiento de conjuntos de fenómenos mucho más reducidos; y 7) aplicabilidad a las necesidades humanas presentes.¹⁹³

Al precisar las especificaciones y requerimientos que debe llegar a satisfacer el *explicatum* se están facilitando las acciones subsiguientes. En primer lugar la discusión e identificación de los elementos del modelo sistémico CES (componentes, entorno y estructura) de los sistemas de campo de una tecnología. Tanto del sistema de campo (concreto) ontológico, como de los sistemas de campo (conceptuales) epistemológico, metodológico y ético-axiológico. A continuación de la discusión e identificación procedería la representación del tetraedro de sistemas de campo, y de cada uno de los sistemas de campo. Esta representación puede ser esquemática, tomando como referencia la información propia de un mapa conceptual o diagramas de influencias.

La siguiente acción sería la de discusión e identificación del sistema funcional praxiológico de la tecnología, lo que viene a ser en perspectiva sistémica, atender a la dimensión dinámica, de los mecanismos y procesos de la tecnología como sistema complejo. Como en el caso anterior, se entiende que debe procederse a una representación que puede ser esquemática y para la que podría utilizarse un mapa conceptual y un diagrama de proceso o flujograma.

A partir de todo lo anterior, y combinando las distintas referencias metodológicas que se han comentado, este segundo paso (elucidación en sentido estricto) del método de elucidación, podría incluir las siguientes actividades: (i) referirse a un modelo básico o nuclear (predefinido) de componentes y relaciones adecuados al problema como sistema conceptual; (ii) definir las especificaciones y requisitos en detalle para la solución del problema; (iii) discutir e identificar los conceptos (componentes y relaciones) para los modelos CES de los sistemas de campo (tanto el concreto, como los conceptuales); (iv) representación (mapas conceptuales, diagramas de influencia o similares) de los sistemas de campo, determinando niveles y límites; (v) discutir e identificar, y representar, la dinámica del sistema: los procesos y mecanismos del sistema funcional praxiológico.

3.3.2.3 Fase 3: modelo de elucidación filosófica como *explicatum*

Se considera que la elaboración del modelo es la fase final del proceso elucidatorio, y por tanto adquiere la consideración de *explicatum*. También en esta fase pueden seguirse las orientaciones metodológicas que sugiere Lewin (1983: 129): “estadio de análisis, en que para

¹⁹³ Cfr. Cuevas, A. (2008): “Una axiología para las ciencias tecnológicas”, *ArtefaCToS*, vol. 1, nº 1, nov. 2008, pp. 62-63.

evaluar el diseño propuesto se elabora un modelo de modo que pueda analizarse la respuesta del modelo para confirmar si satisface las especificaciones originales”. Esta fase sería correspondiente con la prevista para la actividad de diseño general por Bunge (1985: 236) en donde sugiere la etapa de “construcción de un modelo a escala”.

Los dos modelos que van a elaborarse progresivamente, modelo de elucidación filosófica de tecnologías (MEF_tec) y de elucidación filosófica de ingenierías (MEF_ing) van a estar relacionados con unos criterios que respondan a los objetivos perseguidos, y con unas alternativas razonables a partir de las que se producen las decisiones. Sin duda esta forma de proceder es consistente con la pluralidad subyacente a este tipo de investigaciones. Como se ha dicho en varias ocasiones, tanto los modelos de elucidación que se van a proponer como la aplicación al caso, como una elucidación filosófica de la ingeniería ambiental, no serán más que una entre muchas elucidaciones posibles. Si bien, se pretende que la presente elucidación filosófica sea el resultado de un método explicitado en lo posible, de modo que puede hablarse de la pretensión de trabajar, como marco, con un modelo translúcido de elucidación filosófica.

A partir de lo anterior, y combinando las distintas referencias metodológicas que se han comentado, este tercer paso (*explicatum*) del método de elucidación, podría incluir las siguientes cinco actividades: (i) evaluar el cumplimiento de especificaciones y requisitos (generales y particulares) de los modelos conceptuales (sistémicos) que se están elaborando; (ii) descripción y representación del modelo de la tecnología como sistema complejo; (iii) descripción detallada y representación de los sistemas de campo (ontológico, epistemológico, metodológico y ético-axiológico), y sistemas semióticos; (iv) descripción detallada y representación de los sistemas funcionales praxiológicos de la tecnología; y, eventualmente, (v) histórico del sistema, aplicación a caso o formalización avanzada y cuantificación del modelo sistémico.

3.3.2.4 Propuesta de metodología general para una elucidación filosófica sistémica

Se acaba de presentar una propuesta para un método (en tres tiempos) de elucidación filosófica sistemista de tecnologías, que ahora sintetizo en la tabla adjunta.

Tabla 3.3.2.b) Fases y subfases de un método de elucidación filosófica sistémica de una tecnología

FASES	SUBFASES
Fase 1) <i>Explicandum</i> (problema)	1.1 Identificación del problema (tecnología)
	1.2 Familiarización con el problema (como sistema conceptual)
	1.3 Reconocimiento y aclaración del problema como <i>explicandum</i>
	1.4 Especificación y requisitos generales que debe satisfacer la solución
Fase 2) elucidación s.s. (diseño)	2.1 Elaboración/adopción de un modelo básico o nuclear (predefinido) de la tecnología como sistema
	2.2 Definir las especificaciones y requisitos en detalle para la solución del problema (tecnología)
	2.3 Discutir e identificar los conceptos (componentes y relaciones) para el modelo CES de los sistemas de campo (tanto el concreto, como los conceptuales)
	2.4 Representación (mapas conceptuales, diagramas de influencia o similares) de los sistemas de campo, determinando niveles y límites
	2.5 Discutir e identificar la dinámica del sistema: los procesos y mecanismos del sistema funcional praxiológico
	3.1 Evaluación de cumplimiento de especificaciones y requisitos (general y particulares)
	3.2 Descripción y representación del modelo de la tecnología

FASES	SUBFASES
Fase 3) <i>explicatum</i> (modelo)	como sistema complejo
	3.3 Descripción detallada y representación de los sistemas de campo (ontológico, epistemológico, metodológico y ético-axiológico), y sistemas semióticos
	3.4 Descripción detallada y representación de los sistemas funcionales praxiológicos de la tecnología
	3.5. Eventualmente: histórico del sistema, estudio de caso, o formalización avanzada y cuantificación del modelo sistémico

Entiendo que este método propuesto puede resultar adecuado para elucidar una tecnología, teniendo presente que este método es uno entre otros posibles y que no deja de ser una aproximación, por lo que las fases y subfases pueden considerarse indicativas en un proceso de gran complejidad.

Ahora la elucidación filosófica de la ingeniería ambiental que se plantea supone una aproximación progresiva, desde una escala superior (tecnologías), pasando por una escala intermedia (tecnologías ingenieriles o ingenierías) hasta la escala de detalle, de tipo operativo real (una determinada ingeniería, como es el caso de la ingeniería ambiental). Dado que tanto la ‘familia tecnología’ como el ‘género ingeniería’ son niveles superiores al operativo (‘especie ingeniería ambiental’), la secuencia de metodología general se adecúa a estas características.

De modo que para los dos niveles más altos es factible y adecuado recorrer los tres primeros pasos: (i) *explicandum* o reconocimiento y formulación del problema; (ii) elucidación o diseño de proceso específico para resolver el problema hasta cierto punto de aproximación (en función del nivel del objeto de investigación); y (iii) *explicatum* o elaboración de un modelo.

Para completar un método elucidatorio equivalente al método tecnológico (*cfr.* Bunge, 1985; Lewin, 1983), como correspondería a la elucidación de una actividad específica, operativa, como es el caso de la ingeniería ambiental sanitaria, habrá que incluir una fase posterior a las de la conceptualización, como sería una fase 4 (de implementación mediante aplicación al caso y evaluación *expost*).

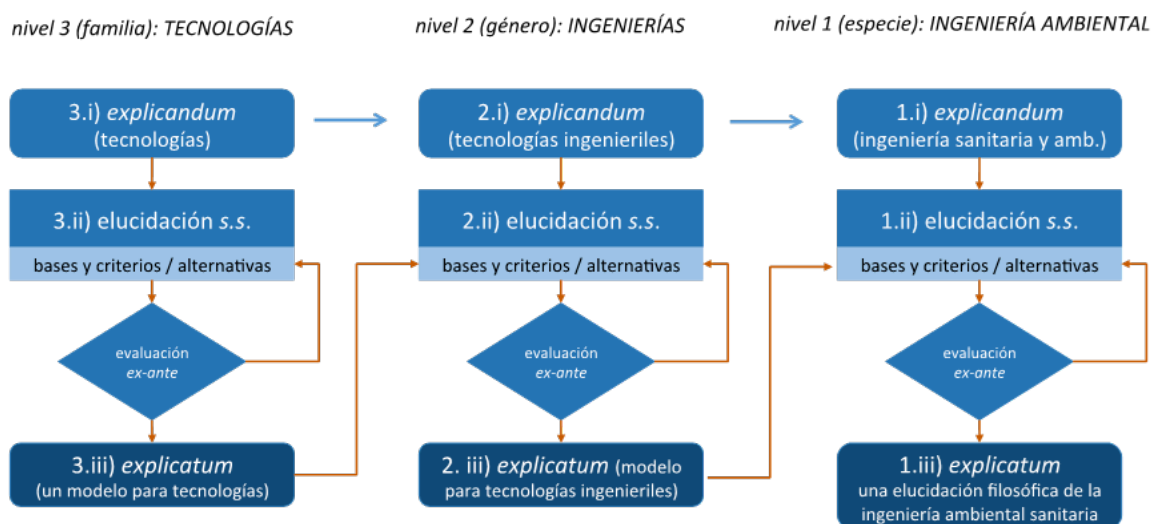


Fig. 3.3.2.a) Metodología general de la elucidación filosófica sistémica de una ingeniería ambiental

El proceso general de elucidación filosófica de una ingeniería ambiental se muestra en la figura adjunta, en donde puede observarse cómo el resultado de la elucidación de una tecnología es un modelo de tecnologías, que a su vez se convierte en la referencia base para el modelo de elucidación filosófica de ingenierías y, siguiendo el mismo camino, cómo esta se convierte en la base del modelo de elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria.

Continuando, las bases que se entienden comprobadas para avanzar en un nuevo proceso de elucidación filosófica, serían:

(i) Siguiendo la tradición elucidatoria filosófica conceptual, se identifica como *explicandum* a la actividad que se desarrolla de forma ‘ingenua’ (o pre-elucidada, en una secuencia abierta de estadios abierta). Al tratarse de una *explicandum* amplio, será necesario iniciar la ruta elucidatoria con una definición y demarcación suficiente, incluyendo en su caso su posición en un esquema clasificatorio de orden mayor.

(ii) La ruta elucidatoria se realizará desde el nivel más alto (familia de tecnologías), a través de un modelo elucidatorio MEFS_tec, siguiendo por un modelo elucidatorio del género de ingenierías (tecnologías ingenieriles) MEFS_ing, hasta la concreta elucidación filosófica sistémica de la ingeniería ambiental sanitaria.

(iii) El proceso interno de elucidación filosófica sistémica en el modelo de un nivel determinado se desarrollará al objeto de identificar el sistema o sistemas constituyentes de ese nivel, así como para cada sistema –eventualmente en función del tipo de sistema– tanto sus componentes, entorno y estructura, de acuerdo con el modelo sistemista bungeano. Asimismo, se entiende que el proceso de elucidación filosófica sistémica puede atender a la evolución temporal del sistema o sistemas considerados. Como se ha observado, la elucidación filosófica sistémica puede descender gradualmente hasta el nivel de redes conceptuales, o de conceptos básicos como componentes, entorno o incluso relaciones de los sistemas identificados.

Como se ha señalado, hay un punto nodular en el arranque de la fase 2, de diseño elucidatorio. Este es la referencia necesaria a un modelo básico o nuclear, a partir del que se puede comenzar a desplegar el proceso de generación y selección de alternativas característico de esta fase. En el apartado siguiente, a partir de todo lo elaborado hasta el momento, se avanza lo que podría ser un modelo nuclear, y por tanto el punto de arranque para la segunda fase de la elucidación filosófica de una tecnología.

3.3.3 Modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de tecnologías

Se acaba de ver cómo el proceso de elaboración de un modelo de elucidación filosófica sistemista de una tecnología requiere disponer de un modelo nuclear o básico de la tecnología como sistema. Así, el objetivo de este último apartado del capítulo es avanzar, a partir de todo lo anterior, un tal modelo nuclear.

El núcleo teórico (modelo nuclear) del modelo de elucidación filosófica sistemista de una tecnología va a ser el resultado de una combinación de las propuestas teóricas que se han revisado en materia de filosofía de la tecnología y sistemas. Aquí se encuentran, fundamentalmente, las aportaciones teóricas de Bunge y Quintanilla, hasta el punto que si se diera un nombre al modelo nuclear de la tecnología como sistema podría proponerse el de Bunge-Quintanilla.

En apartados precedentes se han observado cuáles son las propuestas sistémicas bungeanas (1979 [2012], 1985, 2002, 2004), tanto para sistemas (concretos) en general, de

tipos de sistemas¹⁹⁴, como para sistemas tecnológicos o tecnosistemas. También en un apartado anterior se ha reproducido el conjunto de once elementos que según Bunge (1985) caracterizan básicamente una actividad tecnológica. Sin embargo, parecería que estos desarrollos filosóficos se han realizado en paralelo, sin que llegaran a cruzarse, por lo que desafortunadamente no se dispone de una completa caracterización bungeana de un sistema tecnológico. Pero puede intuirse, como así hago, que si se llegaran a conectar las dos orillas mencionadas de las propuestas bungeanas sobre tecnologías, podría disponerse –junto con el núcleo teórico de Quintanilla– de un notable modelo nuclear de elucidación de tecnologías.

En su apartado, ya se ha revisado la caracterización de una tecnología a partir de once elementos (una 11-tupla), lo que ha permitido avanzar algo en la confluencia mencionada. Recuerdo cómo el conjunto de esos once elementos se ha dividido en cuatro subconjuntos, y cómo esos subconjuntos pueden verse como campos (en un sentido que tiene implícita la noción de sistema), llegando a sugerir la presencia de un campo ontológico, un campo epistemológico, un campo metodológico y un campo ético-axiológico.

Aunque esto puede considerarse un avance, antes de seguir creo que es interesante comprobar la distancia de partida que existe entre una y otra orilla de las propuestas de Bunge sobre tecnología. En este punto, disponemos por una parte de un conjunto de once elementos que configuran una tecnología dada, y por otra parte de lo que debe contemplar tanto un sistema (en general, aunque desde los sistemas concretos) como un tecnosistema. Nuestra operación consiste en analizar estas posibles correlaciones, tanto para en un sistema simplificado (Bunge, 1979) como en el modelo sistémico más completo tipo CESM (Bunge, 2002, 2004), como se observa en las tablas adjuntas.

Tabla 3.3.3.a) Correlación sistema / tecnosistema /elementos de una tecnología

Sistema (Bunge, 1979)	Tecnosistema (Bunge, 1979)	Elementos (11) de una tecnología (Bunge, 1985)
Composición	Seres humanos Artefactos	Comunidad profesional (C) Dominio (D) de entidades reales
Entorno	Componentes de una sociedad	Sociedad (S)
Estructura	Producción, mantenimiento o utilización de artefactos	(no se establece correlato)

La reflexión que puede extraerse a partir de los resultados de la tabla es que sólo tres elementos (C, D y S) de los once elementos característicos de una tecnología, tienen un claro acomodo en un sistema concreto de una tecnología, o tecnosistema concreto. Al revisar los once componentes de una tecnología propuestos por Bunge (1985) podría llegarse a discutir si algunos elementos, como ocurre con la perspectiva general o transfondo filosófico (G) y, probablemente, también con la problemática (P) que puedan llegarse a considerarse como componentes de un sistema. En todo caso, al menos seis elementos de los once que caracterizan una tecnología en Bunge (1985), no podrían formar parte de un tecnosistema concreto o material.

¹⁹⁴ En cuanto a la tipología de sistemas, en la obra de Bunge se observa un tránsito desde un modelo inicial donde, de forma general, los sistemas son materiales y concretos, aunque admitiendo la posibilidad de sistemas de componentes abstractos, pero no sistemas mixtos (Bunge, 1979), hasta un modelo en donde acepta “sistemas de tres tipos: materiales, conceptuales y semióticos. Los sistemas materiales están compuestos exclusivamente por cosas materiales; (...) los sistemas conceptuales están compuestos exclusivamente por conceptos (...) Los sistemas semióticos están compuestos por signos, que son cosas materiales artificiales y que, por convención, denotan, ya otras cosas, ya conceptos” (Bunge, 2002: 20).

Tabla 3.3.3.b) Correlación sistema CESM / tecnosistema /elementos de una tecnología

Sistema CESM (Bunge, 2004)	Tecnosistema (Bunge, 1979)	Elementos (11) de una tecnología (Bunge, 1985)
Composición	Seres humanos Artefactos	Comunidad profesional (C) Dominio (D)
Entorno	Componentes de una sociedad	Sociedad (S)
Estructura	Producción, mantenimiento o utilización de artefactos	(no se establece correlato)
Mecanismo	(producción)	(no se establece correlato)

De la misma manera que en el caso anterior, tampoco los once elementos quedan bien recogidos en el modelo tetrapartito CESM de Bunge (2004) en que se incluye la consideración del mecanismo (M) del sistema.

Al margen de estas denominaciones, que pueden tener interés más adelante, lo que interesa resaltar es que la propuesta de once elementos característicos de una tecnología formulada por Bunge (1985) no queda bien recogida en un modelo de un único sistema (no mixto), como el que establece Bunge ([1979] 2012) para sistemas sociotécnicos o tecnosistemas. De la misma manera, tampoco los once elementos quedan bien recogidos en el modelo tetrapartito CESM de Bunge (2004) en que se incluye la consideración del mecanismo (M) del sistema.

Esto puede ocurrir porque la caracterización de sistemas en Bunge parte, y se orienta, hacia sistemas concretos, materiales; y porque este autor desestima los sistemas mixtos, cuando afirma: “un sistema, entonces, es un objeto complejo cuyos componentes están interrelacionados en lugar de aislados. Si los componentes son conceptuales, también lo es el sistema; si son concretos, o materiales, constituyen un sistema concreto (o material). Una teoría es un sistema conceptual, una escuela es un sistema concreto perteneciente a la clase de los sistemas sociales. Estos son los dos únicos reinos que reconocemos: el concreto y el conceptual. No nos son útiles los sistemas mixtos (...).” (Bunge [1979] 2012: 29).

Más adelante, cuando Bunge (2002: 20) actualiza la tipología de sistemas, sigue desestimando los sistemas mixtos, al afirmar que los sistemas materiales “están compuestos exclusivamente por cosas materiales”, y los sistemas conceptuales “están compuestos exclusivamente por conceptos”. Es en esa actualización tipológica en la que Bunge reconoce, además de los sistemas materiales y sistemas conceptuales, a los sistemas semióticos, como un tipo especial de sistemas.

Así, como los once elementos propuestos más arriba para caracterizar las tecnologías son ontológicamente heterogéneos, resulta que no pueden integrarse todos juntos como componentes de un mismo sistema si nos atenemos a las restricciones que se acaban de mencionar.

Dicho de forma simplificada: la propuesta de los once elementos que según Bunge caracterizan una tecnología no cabe en el modelo (ni el simplificado ni el CESM) de sistema tecnológico o tecnosistema, puesto que el sistema bungeano es un sistema en donde todos los componentes y entorno son objetos concretos, lo que no ocurre con gran parte de los elementos que considera característicos de una tecnología¹⁹⁵. Esto se observa gráficamente en

¹⁹⁵ Quiero llamar de nuevo la atención sobre esta cuestión, que resulta particularmente relevante. Si hablamos de la tecnología, este sería un punto donde el empeño sistemista de Bunge se ha detenido, quedando sin conciliar la noción de sistema (tecnosistema), con el conjunto de elementos que –asegura– caracterizan efectivamente una tecnología.

la figura en donde se representan los once elementos característicos de la tecnología, destacando los únicos tres que articularían el propio tecnosistema de Bunge.

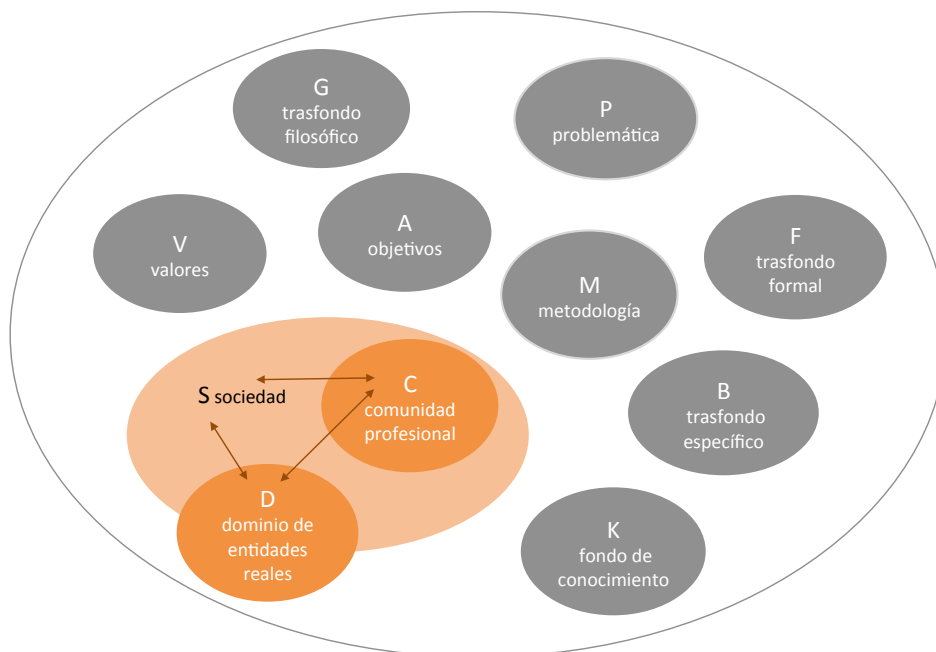


Fig. 3.3.3.b) Tecnosistema bungeano y resto de elementos (8) que caracterizan una tecnología

En este punto, cabe preguntarse si los once elementos que se han caracterizado y que, como ya se ha visto, pueden agruparse en conjuntos de campos de investigación filosófica, podrían considerarse –aplicando el enfoque sistémico– como un sistema. La respuesta sólo podría ser positiva de forma inmediata, como se ha comentado antes, si –en contra del criterio de Bunge– se aceptaran sistemas mixtos, en donde en el mismo sistema hubiera componentes tanto de tipo concreto o material como de tipo abstracto o conceptual (con la excepción, como se verá, de los sistemas semióticos). Por tanto, ese conjunto heterogéneo de elementos no pueden constituir un sistema único, simple.

Podría plantearse, eso sí, un solo sistema concreto como el que aparece en la siguiente figura adjunta, donde además del tecnosistema concreto he incluido los tres campos (epistemológico, metodológico y ético-axiológico) que se han identificado previamente. Ahora, desde esta figura se puede presentar una importante alternativa metodológica: o bien se puede acomodar el enfoque sistémico de la tecnología a un modelo de un único sistema concreto que no incluye la mayor parte de los once elementos que caracterizan a una tecnología, que podrían quedar simplemente como entorno del tecnosistema; o bien se puede promover un enfoque sistémico más amplio, que además integre de la mejor forma diferentes campos filosóficos involucrados, como son especialmente la ontología (de entidades concretas), pero además el campo epistemológico, el campo metodológico y el campo ético-axiológico.

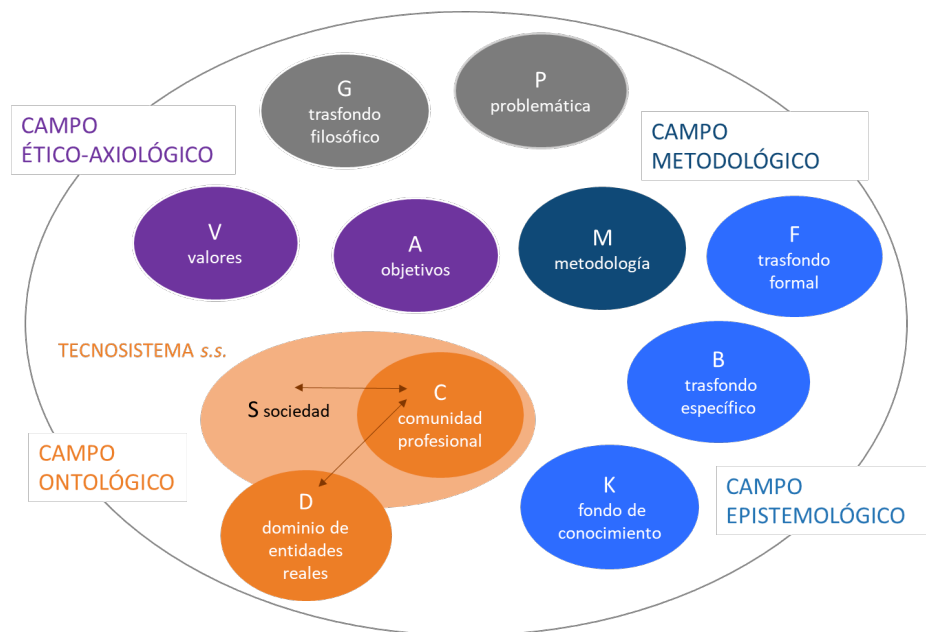


Fig. 3.3.3.d) Conjunto de elementos, por campos, y tecnosistema (campo ontológico concreto)

Creo que se puede plantear una solución a este problema, que sería la de considerar esos cuatro campos como si fueran cuatro sistemas distintos; cuatro sistemas que serían a su vez componentes (subsistemas) de un sistema de orden superior (sistema complejo o supersistema), que atendería a los elementos de una tecnología como un conjunto más completo. Así, los cuatro campos (en origen sub-conjuntos) que pueden asociarse a campos mayoritarios están compuestos por elementos que tienen unas características que los hacen susceptibles de considerarse como sistemas, aunque no del mismo tipo, puesto que si bien el sistema del campo ontológico sería concreto, los sistemas de los campos epistemológico, metodológico y ético-axiológico serían de tipo conceptual (entidades constituidas abstractas).

Esta propuesta es consistente con cuatro principios (A5-A8) característicos del materialismo sistémico, dinamicista y emergentista de Bunge (2002: 21): “A5, todos los objetos, sean materiales, conceptuales o semióticos, son sistemas o componentes (actuales o potenciales) de sistemas; A6, todos los sistemas poseen propiedades emergentes; A7, todos los sistemas se forman por agregación o combinación de objetos más simples; A8, todas las cosas de cada nivel están compuestas por cosas pertenecientes a niveles inferiores”.

De este modo, de los dos caminos posibles (considerar el tecnosistema como único sistema o articular un sistema complejo), es el segundo camino es el que se ha seguido, como veremos a continuación, en donde se detalla la alternativa de aproximarse a un sistema complejo constituido por, al menos, cuatro campos filosóficos: ontológico, epistemológico, metodológico y ético-axiológico.

Esta es una propuesta metodológica del todo novedosa. No se han encontrado antecedentes ni referencias de modelo tetra-sistémico para una tecnología. Como puede verse, se ha incorporado la noción de ‘campo’ como un dominio material o conceptual (según corresponda) deliberadamente amplio y no restrictivo¹⁹⁶. Por eso también me estoy refiriendo

¹⁹⁶ Como ya se ha expuesto, la noción de campo que empleo se podría asociar al empleo que de esta terminología se realiza en los estudios de crítica literaria, por ejemplo en *El campo literario*, de Bourdieu.

a ‘sistemas de campo’ para sugerir que el objetivo es intentar situar los muy distintos elementos de la tecnología que se reúnen en un espacio conceptual lo suficientemente abierto.

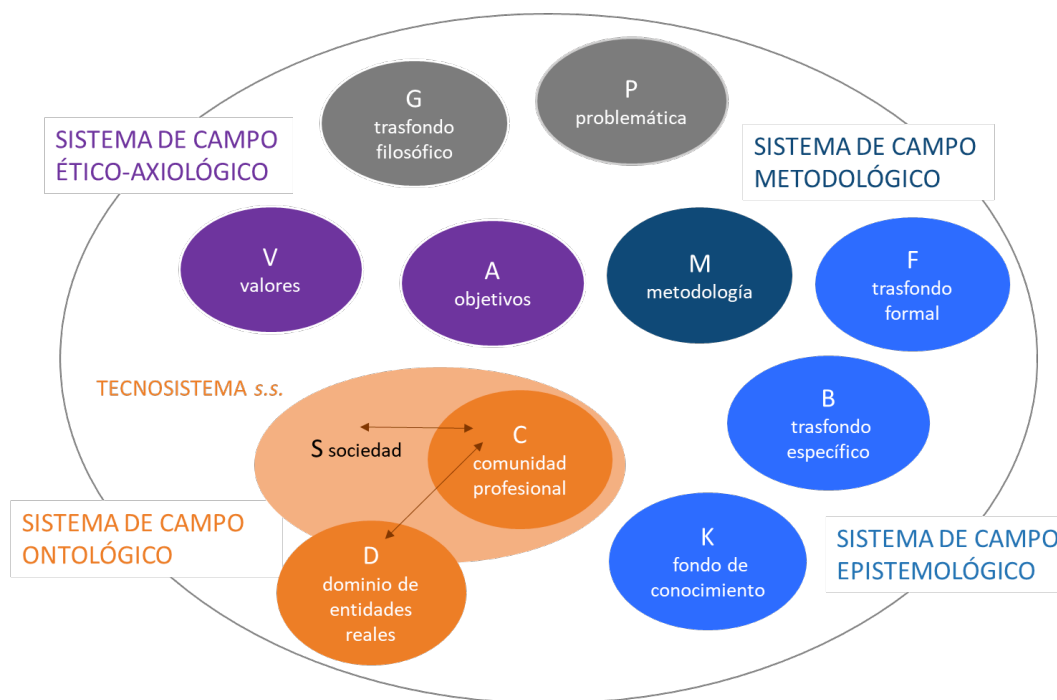


Fig. 3.3.3.e) Conjunto de elementos, por sistemas de campos

En la figura se muestra gráficamente, y de alguna manera se induce, el reconocimiento de una potencial estructura interna de los once elementos de la propuesta, con cuatro grupos de campos: ontológico (naranja), epistemológico (azul), metodológico (azul) y ético-axiológico (morado).¹⁹⁷

Los elementos del tecnosistema, del campo ontológico, pueden llegar a identificarse, según el modelo CES bungeano, por una parte con dos componentes concretos: la comunidad profesional (C) (como agentes intencionales) y las entidades reales (D); mientras que la sociedad (S) podría identificarse (en tanto sistema de nivel superior al sistema tecnosocial) como entorno del tecnosistema. Esto prueba que el ‘campo ontológico’ va a poder considerarse como un ‘sistema de campo ontológico’.

También la posibilidad de que los otros ‘campos’ se vean como ‘sistemas de campo’ es aceptable a priori puesto que diversos autores (*cf.* Laszlo, 1972) ya vienen hablando de sistema epistemológico o de sistema axiológico. De aquí que plantee que los elementos característicos de una tecnología se asignen a uno de los cuatro sistemas (de campo): sistema concreto del campo ontológico, sistema abstracto del campo epistemológico, sistema abstracto del campo metodológico y sistema abstracto del campo ético-axiológico.

Estos tres últimos sistemas abstractos de campo podrían contemplarse, como ya se hace con el sistema de campo ontológico (tecnosistema), bajo el modelo composicional triple de

¹⁹⁷ Los colores seleccionados para la representación de los distintos campos se ha inspirado, con un cierto grado de libertad, en la teoría de los colores de Goethe, por la que se establece una correlación entre colores y características. Así el azul ha quedado para el campo epistemológico, y el morado para el campo ético-axiológico.

sistema bungeano ([1979] 2012, 1985) en donde se cuentan los componentes, el entorno y la estructura relacional.

Es muy importante en este punto recordar que este planteamiento sistémico, que puede alcanzar a cuatro campos (ontológico, epistemológico, metodológico y ético-axiológico) deberá ir necesariamente relacionado con la noción fundamental de tecnología como sistema de acciones (*cfr.* Quintanilla, 1989, 2005), que va a llevar –como se verá más adelante– a la propuesta del reconocimiento de un sistema praxiológico, con una función esencial, articuladora del supersistema tecnológico. Se adjunta una representación simplificada que representa un sistema de acciones e interpreta la secuencia de cambios en el estado de unos determinados componentes físicos (una primera acción del agente intencional modifica el estado de componentes físico, y así sucesivamente) como respuesta a unas acciones intencionales de determinados agentes en dos intervalos temporales.

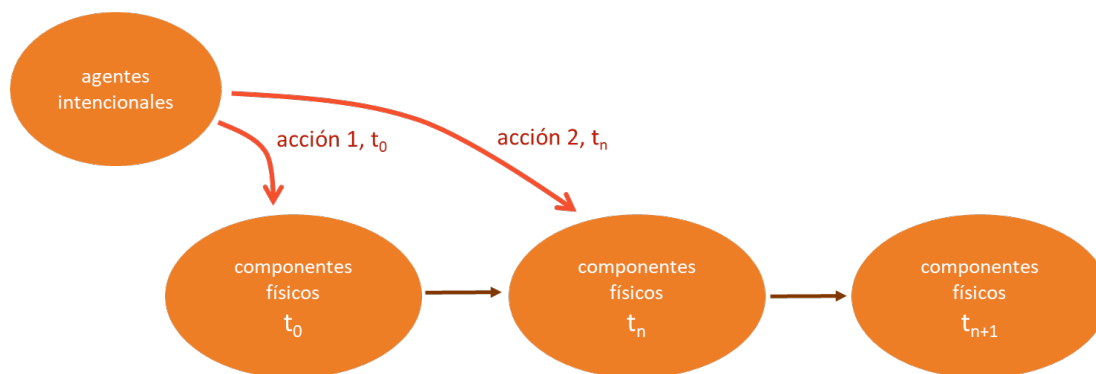


Fig. 3.3.3.f) Sistema de acciones y cambio de estado de componentes (a partir de Quintanilla, 2005)

En el proceso de diseño de un modelo de elucidación filosófica sistémica de tecnologías que se está siguiendo, se ha atendido a la definición de cuatro sistemas de campo, que pueden considerarse acoplados mediante el sistema funcional praxiológico y los sistema semióticos puente, como se verá más adelante. En realidad, como puede apreciarse, esta forma de proceder responde a una intuición previa inicial de que los sistemas de campo identificados forman parte de un sistema complejo o supersistema. Una de las ideas más importantes que están detrás de esa intuición está en la formulación que hace Quintanilla (2005: 47): “una *realización técnica* es un *sistema de acciones intencionalmente orientado a la transformación de objetos concretos para conseguir de forma eficiente un resultado valioso*. Una *técnica* es una *clase de realizaciones técnicas equivalentes respecto al tipo de acciones, a su sistematización, a las propiedades de los objetos sobre los que se ejercen y a los resultados que se obtienen*. En todo caso, el concepto de técnica se refiere a *acciones*.”

Considero que el planteamiento de Quintanilla es nodular, no sólo a la hora de sostener el sistema praxiológico del sistema complejo de la tecnología, sino también para explicar los propios fundamentos del presente trabajo para llegar a concebir una tecnología como un sistema complejo, como un sistema de sistemas. En esta definición de Quintanilla se encuentran implícitas las referencias a cuestiones de naturaleza praxiológica (“un sistema de acciones”), ontológica (“transformación de objetos concretos”), epistemológica y metodológica (“intencionalmente orientado a la transformación”) y ético-axiológica (“para conseguir de forma eficiente un resultado valioso”).

Volviendo a lo anterior, se señala que esta propuesta de enfoque sistémico en donde la actividad tecnológica se contemple, al menos, como un supersistema compuesto de objetos concretos (del campo ontológico) y de objetos abstractos (de los campos epistemológicos,

metodológico y ético-axiológico), supone ampliar el enfoque sistémico de la tecnología e integrar en cierto modo tanto las áreas habitualmente (ontología, epistemología y axiología) como las otras áreas (metodológica, ética, praxiológica) que vienen siendo tratados separadamente, aún en los textos de filosofía de la tecnología. De este modo se induce el estudio de las interrelaciones entre componentes, de componentes compartidos entre sistemas o de otras cuestiones sistémicas como son por ejemplo las relaciones componentes-entorno.

Los diferentes elementos que se han asignado a los cuatro campos no deben considerarse como componentes sistémicos, sino más bien como conjuntos de componentes (o incluso de entorno) de los sistemas de campo correspondiente. Asimismo, al suponer que cada uno de los cuatro campos citados sea considerado como sistema, y en concreto como un sistema del tipo bungeano CESM, está llevando a una elucidación filosófica sobre cuáles podrían ser los componentes de ese sistema de campo, cuál el entorno, cuáles las relaciones (internas y externas) y cuál el mecanismo (proceso) del sistema. Estos cuatro sistemas de campo se encontrarían conectados a través del sistema funcional praxiológico, que es un sistema con una estructura lineal, diferente del modelo sistémico bungeano CES.

Recapitulando, hasta este momento, el modelo nuclear para la elucidación sistémica de una tecnología dada que se va diseñando, disponemos de cuatro sistemas de campo (subsistemas) de tipo composicional, y un sistema (subsistema) de tipo funcional. Al considerar como sistemas solamente aquellos que comparten la naturaleza objetual material (sistema del campo ontológico concreto), o por otra parte los que tienen una naturaleza objetual abstracta (sistemas de los campos epistemológico, metodológico y ético-axiológico), hemos atendido a las previsiones de Mario Bunge, de modo que no se plantean sistemas mixtos (de componentes concretos y abstractos). De continuación, al incorporar a este supersistema en construcción el sistema praxiológico (de naturaleza funcional, más que composicional), estamos mejorando la estructura del supersistema de una tecnología, ya que viene a dar cuenta de los mecanismos o procesos característicos del supersistema tecnológico.

No obstante, si se mantiene sólo esta estructura para el supersistema tecnológico, pueden aparecer diversas dificultades. La más importante tiene que ver con cuál sería la conexión real que se establece entre los sistemas (ahora como subsistemas de un sistema complejo) ontológico concreto, epistemológico, metodológico y ético-axiológico, dado que el primero es de naturaleza concreta y los otros son de entidades constituidas abstractas. Es claro que al preferir un enfoque ontológico materialista, se está poniendo toda la acción intencional en el campo ontológico, concretamente en los agentes (al menos en la comunidad profesional). Pero de este modo, cuando analicemos las acciones internas entre los componentes del campo epistemológico, del metodológico o del ético-axiológico, habría que incluir un agente intencional (un componente del campo ontológico) a modo de componente tanto del sistema epistemo-metodológico como del ético-axiológico. Pero, si seguimos atendiendo al criterio bungeano de que no se planteen sistemas composicionalmente mixtos (componentes concretos y abstractos), no puede seguirse este camino.

Por esta razón y no obstante el interés de un modelo como el expuesto, en que se organizan los elementos de una tecnología como un supersistema de cinco sistemas (cuatro de tipo composicional y uno de tipo funcional), sigue apareciendo un problema, ya que Bunge insiste en la conveniencia de que los sistemas no sean mixtos, sino que sus componentes sean bien materiales o bien conceptuales. También se encuentra otro problema, y es que la conexión entre los sistemas se realizaba fundamentalmente a través de uno (el praxiológico) de los sistemas componentes del tetraedro. Si se considera que el sistema funcional praxiológico da cuenta de cómo operan los agentes intencionales de la comunidad profesional, no habría problema cuando se observa cómo los agentes se relacionan en

términos de materia o energía con otros componentes del sistema de campo ontológico concreto. Estas relaciones sólo explican una parte de las relaciones de naturaleza sistémica, puesto que ya se ha puesto de manifiesto que las relaciones entre componentes pueden ser de tres tipos: de materia, de energía o de información.

Así, las relaciones de información de los agentes intencionales de la comunidad profesional, no sólo con los componentes del campo ontológico concreto, sino muy especialmente con los componentes de los sistemas de campo epistemológico, metodológico y ético-axiológico, requieren de una interfaz entre lo concreto y lo abstracto. Por otra parte, tampoco pueden concebirse adecuadamente (salvo una reificación que no puede compartirse desde una ontología materialista) unas posibilidades de relación entre los componentes abstractos de los sistemas de campo epistemológico, metodológico, o ético-axiológico que no estén medidados por algo que pueda ser –en última instancia– una operación manual o cognitiva de, al menos, un agente intencional de la comunidad profesional.

Para resolver estas limitaciones, y después de un tiempo de trabajar sobre el modelo tetraédrico simplificado, he optado por considerar la inclusión en la estructura del modelo de supersistema tecnológico de los sistemas semióticos¹⁹⁸. Los sistemas semióticos son, de acuerdo con la tipología de sistemas de Bunge (2004), un tipo de sistemas diferenciado tanto de los sistemas concretos como de los sistemas abstractos.

Los sistemas semióticos, en el modelo de elucidación filosófica sistémica de tecnologías que se está elaborando, toman la posición de sistemas puente. Como se observará en el gráfico que representa la estructura del modelo, sitúo un espacio denominado como ‘sistemas semióticos’ en una zona que pone en contacto a los agentes del sistema de campo ontológico concreto con los sistemas (abstractos) de campo epistemológico, metodológico y ético-axiológico. Esto sirve para mostrar también que cualquiera de las funciones (o subfunciones) del sistema funcional praxiológico requiere –al menos– del concurso de un determinado sistema semiótico.

En cuanto a la estructura, los sistemas semióticos van a tener un papel como puentes entre sistemas o componentes de sistemas. La idea no es que los sistemas semióticos se traten como sistemas de campo ni como sistemas funcionales, sino que en el modelo del sistema complejo de la tecnología serían un puente entre: el dominio concreto y el dominio abstracto; sistemas de campo materiales y abstractos; y entre los sistemas de campo y el sistema funcional praxiológico. Esa característica de ‘sistema puente’ tiene la propiedad de que al menos uno de los dos ‘puntos de apoyo del puente’ serían los agentes intencionales de la comunidad profesional.

¹⁹⁸ La incorporación de los sistemas semióticos permite, asimismo, encontrar un marco adecuado para la exposición de las reflexiones e investigaciones que se están realizando en tecnologías desde el área de la semántica.

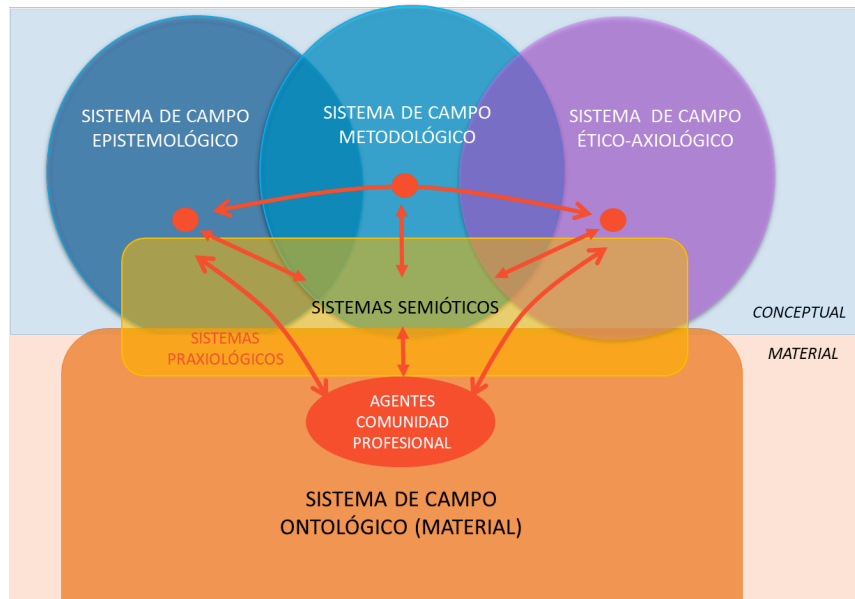


Fig. 3.3.3.g) Modelo base de sistemas de campo para elucidación filosófica de tecnologías

El significado práctico de lo anterior es que en el modelo del supersistema de la tecnología se va a representar, de forma diferenciada, a los sistemas semióticos. Pero, más adelante, cuando se vaya realizando el análisis de cada uno de los sistemas de campo, así como del sistema funcional praxiológico, los diferentes sistemas semióticos también se van a incluir como componentes¹⁹⁹ del sistema de campo o sistema funcional que se esté tratando. Es más, de acuerdo con esta propuesta, no puede concebirse ningún sistema de campo o sistema funcional entre cuyos componentes no esté, al menos, un determinado sistema semiótico; más en concreto, que no dispongan como mínimo de un lenguaje natural compartido por la comunidad profesional.

Esto lleva a poder representar el modelo Bunge-Quintanilla de una tecnología como sistema complejo tecnológico, consituído a partir de los sistemas de campo ontológico material, y de campo conceptual (epistemológico, metodológico y ético-axiológico), junto a los sistemas (puente) semióticos y los sistemas praxiológicos (de acciones); en donde se incluyen los conjuntos de componentes caracterizados a partir de Bunge (1985). Este modelo (en bruto)²⁰⁰ para una tecnología como sistema complejo aparece representado gráficamente en la figura adjunta.

¹⁹⁹ Ya se ha observado cómo el enfoque y los modelos sistémicos admiten que un componente dado de un sistema (o de un nivel sistémico de referencia) sea a su vez un sistema, y que por tanto tenga incluso un grado de complejidad mayor que los componentes que caractericen ese nivel de investigación sistémica.

²⁰⁰ Hablo en este punto de un 'modelo en bruto' por cuanto en su representación únicamente he incluido los sistemas componentes más importantes del sistema complejo de una tecnología, así como –dentro de ellos– los componentes de esos sistemas más relevantes, a partir de la identificación básica de los elementos de una tecnología por Bunge. Como se verá más adelante, la configuración de la representación se va adaptando de acuerdo con los avances del proceso de elucidación sistemista para las tecnologías ingenieriles. Ahí quedarán mejor definidos los sistemas componentes, así como su entorno (supersistema social y supersistema ecológico), y se observará de forma más clara en modo en que los sistemas praxiológicos (mecanismo del sistema complejo) articulan el conjunto y le dotan de globalidad. De igual manera, en las posteriores representaciones podrán irse observando con más detalle la configuración interna de cada uno de los sistemas componentes (óptico material, sistemas semióticos, y sistemas conceptuales culturales) de la tecnología ingenieril.

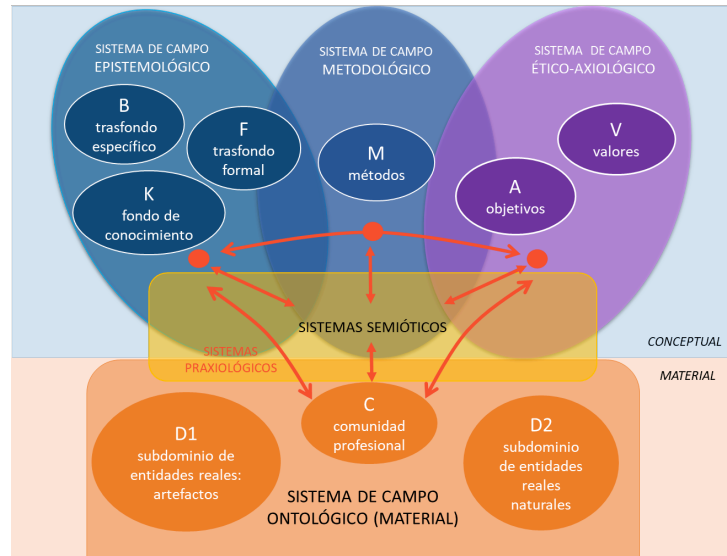


Fig. 3.3.3.h) Modelo (en bruto) Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistémica de tecnologías

Esta representación quiere ofrecer una primera imagen integrada del conjunto de los diferentes sistemas que están necesariamente acoplados. Y esto significaría que cada uno puede ser analizado, pero que solamente el conjunto (sistema complejo) de todos los sistemas permitiría dar cuenta de la tecnología. De modo que, en mi opinión, un tratamiento filosófico de la tecnología de un modo como el expuesto, puede contribuir en cierta medida a una mejor comprensión de la actividad tecnológica, pero también a poner de manifiesto que un enfoque sistemista puede relativizar la importancia del largo debate sobre enfoques alternativos (epistemológico, instrumental, práctico...) en la filosofía de la tecnología.

En todo caso, la idea de disponer de un modelo de elucidación filosófica sistemista de tecnologías, constituye uno de los objetivos parciales de este trabajo, puesto que permite avanzar desde el proceso elucidatorio del nivel 3 (familia) hasta el proceso elucidatorio del nivel 2 (género) de tecnologías ingenieriles o ingenierías, hacia uno de los objetivos finales como es el proceso elucidatorio en el nivel 1 (especie) de la ingeniería ambiental sanitaria. Como puede observarse en la figura adjunta, el siguiente capítulo continúa precisamente con ese proceso elucidatorio del nivel 2, de tecnologías ingenieriles o ingenierías.

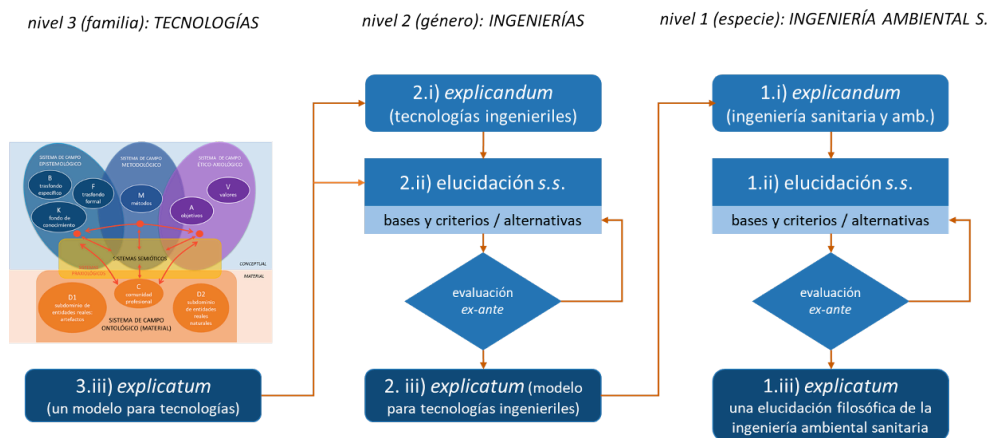


Fig. 3.3.3.g) Ruta general de elucidación desde modelo Bunge-Quintanilla de elucidación de tecnologías

PARTE 2ª UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE LA INGENIERÍA

4 ELUCIDACIÓN BUNGE-QUINTANILLA DESDE LA TECNOLOGÍA INGENIERIL COMO *EXPLICANDUM*

El proceso general de elucidación filosófica que se plantea es de tipo aproximativo, yendo desde un dominio amplio (tecnología o actividades tecnológicas), descendiendo por las ingenierías (tecnologías ingenieriles), hasta el caso concreto de la ingeniería civil-ambiental sanitaria. Como ya se ha señalado, estos tres niveles de elucidación de actividades podrían correlacionarse –siguiendo un símil de la taxonomía biológica– con los niveles de: familia (tecnologías), género (ingenierías) y especie (ingeniería sanitaria). Se considera, siguiendo este símil, a la especie como el nivel de desempeño teórico y práctico de una actividad profesional.

El modelo nuclear (Bunge-Quintanilla) de elucidación filosófica sistemista de tecnologías va a servir como punto de partida, como elucidación de la clase 3 (nivel de familia) de actividades tecnológicas, para pasar en este punto al nivel de elucidación de tecnologías ingenieriles, por tanto en el nivel de género (ingenierías). En todo caso, el proceso de elaboración del modelo de elucidación filosófica sistémica de ingenierías (tecnologías ingenieriles) responde a las tres fases identificadas: (i) *explicandum* o problema; (ii) elucidación en sentido estricto o diseño elucidatorio; y (iii) modelo como *explicatum*.

4.1 TECNOLOGÍAS INGENIERILES (INGENIERÍA) COMO *EXPLICANDUM*

El punto de partida para esta elucidación filosófica sistémica está en considerar como *explicandum* a la ingeniería, en tanto tecnología ingenieril, como una especificación de la familia de las tecnologías. Por tanto, esta elucidación filosófica ingenieril es por una parte una especificación del modelo nuclear Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de tecnologías, mientras que por otra parte se convierte en una suerte de modelo de elucidación de ingenierías, a partir del cual puede particularizarse el caso de elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria.

4.1.1 Familiarización primaria con el problema (ingeniería) en tanto *explicandum*

Una identificación muy primaria del problema podría establecerse a partir de las definiciones generales (no filosóficas) de ‘tecnología’ y de ‘ingeniería’. En lengua castellana se puede recurrir, en primera instancia, al diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (RAE), en donde se define tecnología, en primera acepción, como “conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico.” Por su parte, también en primera acepción, define ingeniería como “conjunto de conocimientos orientados a la invención y utilización de técnicas para el aprovechamiento de los recursos naturales o para la actividad industrial”, y en segunda acepción como “actividad profesional del ingeniero²⁰¹”.

²⁰¹ Se entiende aquí, tal y como se refleja en RAE para ‘ingeniero’, tanto para género masculino como femenino, como: “persona con titulación universitaria superior que la capacita para ejercer la ingeniería en alguna de sus ramas.”

Puede hacerse una aproximación más sectorial a estas definiciones generales a partir del Diccionario Español de Ingeniería (DEI)²⁰² de la Real Academia de Ingeniería (RAI), en donde define la tecnología como: “tratado de los términos técnicos”, “conjunto de los conocimientos propios de una ciencia de aplicación práctica”, o “lenguaje propio de una ciencia o arte”. Los términos compuestos a partir de tecnología a que se alude en este diccionario (DEI) son: agrobiotecnología, biotecnología, geotecnología, infotecnología, y nanotecnología. En este diccionario, sin embargo, no aparece²⁰³ como entrada la palabra ‘ingeniería’, aunque sí una larga nómina de tipos de ingenierías.

También desde la ingeniería, pero con un enfoque más filosófico, podría citarse la caracterización de Aracil (1999: 49):

“La ingeniería es concepción y realización de objetos artificiales para satisfacer determinadas necesidades. La concepción es un acto de creación que, como tal, no es fácil de describir. La ingeniería, para llevar a cabo lo que concibe, aplica métodos y conocimientos consistentes en lo que genéricamente se conoce como método científico, pero en una versión abierta, pluralista y pragmática que conserva de aquél casi exclusivamente el rigor deductivo y la contrastación empírica –pero no la pretensión de alcanzar un conocimiento absoluto, de modo que las formas concretas de actuación práctica deban derivarse de él, suponiendo una subordinación de la acción al conocimiento-.”

Puede darse un salto al escenario internacional educativo para comprobar cómo en diferentes clasificaciones de actividades (ciencia y tecnología) como es el caso señalado de la UNESCO, se aporta una panorámica que creo que refleja bien el alcance de los términos científicos y tecnológicos, tal y como se los concibe desde este organismo internacional en su clasificación de las áreas de ciencia y tecnología.

En la tabla aparece la clasificación por campos de las áreas de Ciencia y Tecnología que hace UNESCO. Esta clasificación, que tiene unas importantes repercusiones en el ordenamiento y gestión internacional de la ciencia y la tecnología, refleja un modelo de pensamiento sobre la ciencia y la tecnología. En primer lugar, se observa el predominio cuantitativo y cualitativo del área de la ciencia sobre la tecnología, puesto que esta última (en sentido estricto, si bien como ‘ciencias tecnológicas’) es tan sólo uno de los veinticuatro campos en que se dividen estas áreas. La estructura de esta clasificación presupone la práctica sumisión del área de la tecnología al de la ciencia, pero además que el núcleo tecnológico (campo 33) tenga como mucho en las proximidades dos campos que deben entenderse como parcialmente tecnológicos (ciencias agrarias y ciencias médicas). También, como puede observarse, la noción y posición de las ciencias tecnológicas, aparta casi definitivamente del área tecnológica, los epígrafes de la cincuentena y sesentena, en donde podría llegar a hablarse de tecnologías sociales.

²⁰² Este Diccionario Español de Ingeniería (DEI), como proyecto de la Real Academia de Ingeniería, puede considerarse como una buena representación del modo en que la propia comunidad ingenieril concibe la organización, alcance y contenidos de la ingeniería. En este sentido, creo que es un material de consulta especialmente valioso puesto que es una representación ‘viva’ de la red conceptual de la ingeniería española en las primeras décadas del siglo XXI. Se trata de un gran conjunto de información que, en mi opinión podría ser objeto de interesantes investigaciones en la materia de filosofía de la tecnología ingenieril, tanto general como específica.

²⁰³ Acceso agosto de 2019.

Tabla 4.1.1.a) Campos de las áreas de Ciencia y Tecnología, según UNESCO

11 Lógica	51 Antropología
12 Matemáticas	52 Demografía
	53 Ciencias económicas
21 Astronomía y astrofísica	54 Geografía
22 Física	55 Historia
23 Química	56 Ciencias jurídicas y derecho
24 Ciencias de vida	57 Lingüística
25 Ciencias de la tierra y del espacio	58 Pedagogía
	59 Ciencia Política
31 Ciencias agrarias	
32 Ciencias médicas	61 Psicología
33 Ciencias tecnológicas	62 Ciencias de las artes y las letras
	63 Sociología
	71 Ética
	72 Filosofía

Cuando se desciende del nivel de campo al de subcampo, y se observa con más detalle el conjunto de subcampos que se agrupan bajo la denominación de ‘Ciencias tecnológicas’, se detalla aún más el modelo de pensamiento sobre la tecnología que se refleja en esta clasificación de UNESCO. En este caso, el término de tecnologías, que ya está mediado al aparecer bajo el epígrafe del campo (33) como ‘Ciencias tecnológicas’ en donde se incluyen una treintena de subcampos.

Tabla 4.1.1.b) Subcampos del campo 33 ‘Ciencias tecnológicas’, según UNESCO

3301. Ingeniería y teconología aeronáuticas	3311. Tecnología de la instrumentación	3321. Tecnología del carbón y del petróleo
3302. Tecnología bioquímica	3312. Tecnología de materiales	3322. Tecnología energética
3303. Ingeniería y tecnologías químicas	3313. Tecnología e ingeniería mecánicas	3323. Tecnología de los ferrocarriles
3304. Tecnología de los ordenadores	3314. Tecnología médica	3324. Tecnología del espacio
3305. Tecnología de la construcción	3315. Tecnología metalúrgica	3325. Tecnología de las telecomunicaciones
3306. Ingeniería y tecnologías eléctricas	3316. Tecnología de productos metálicos	3326. Tecnología textil
3307. Tecnología electrónica	3317. Tecnología de vehículos a motor	3327. Tecnología de los sistemas de transporte
3308. Ingeniería y tecnología del medio ambiente	3318. Tecnología minera	3328. Procesos tecnológicos
3309. Tecnología de los alimentos	3319. Tecnología naval	3329. Planificación urbana
3310. Tecnología industrial	3320. Tecnología nuclear	3330. Otras especialidades tecnológicas

No obstante, y sin entrar en otras consideraciones sobre la clasificación de UNESCO, lo que más me interesa resaltar es que entre los contenidos y subcampos de este campo 33, de ciencias tecnológicas, se encontrarían prácticamente la totalidad del ámbito que alcanzan las tecnologías ingenieriles o ingenierías y también de las más importantes especialidades de las mismas.

Creo que puede ser útil presentar como una aproximación general a la ingeniería, lo que se viene denominado, especialmente desde la práctica pedagógica, la comprensión de la ‘naturaleza de la ingeniería’ (*nature of engineering*, NOE), con el objeto de que pueda incorporarse el conocimiento ingenieril en los niveles más altos de la formación pre-

universitaria²⁰⁴. Para ello se caracteriza esta ‘naturaleza de la ingeniería’ como un marco sintético a partir de la revisión bibliográfica de estudios sobre la ingeniería desde las perspectivas filosófica, histórica y sociológica, así como desde la propia ingeniería. Esto permite en Pleasants y Olson (2018: 154) identificar, de forma amplia y actualizada, los aspectos relevantes de la ingeniería: 1) diseño en la ingeniería; 2) especificaciones, limitaciones y objetivos; 3) fuentes del conocimiento ingenieril; 4) producción del conocimiento en la ingeniería; 5) alcance de la ingeniería; 6) modelos de los procesos de diseño; 7) contexto cultural de la ingeniería; 8) cultura interna de la ingeniería; y 9) ingeniería y ciencia.²⁰⁵

Por otra parte, en los capítulos anteriores ya se han avanzado diversas cuestiones sobre aspectos y problemas de tecnología en general y específicamente sobre tecnologías ingenieriles e ingeniería, así como una nómina extensa de autores y de obras sobre esta materia, que de por sí permitirían completar un recorrido de lo que estoy llamando familiarización primaria, en tanto *explicandum*, con la tecnología ingenieril.

4.1.2 Aclaración básica y delimitación de la ingeniería como *explicandum*

Como se ha puesto de manifiesto, entre los primeros pasos de un proceso elucidatorio está la aclaración y delimitación, ya con una mayor precisión, del campo y límites del objeto de elucidación filosófica como *explicandum*: la actividad tecnológica ingenieril en el marco temporal de principios del siglo XXI.

Para ello presento las definiciones filosóficas de tecnología que utilizo como referencia básica, seguiré con varias clasificaciones de tecnologías que permiten dar una idea tanto de la amplitud de la misma como de la posición de la ingeniería (tecnología ingenieril), para finalmente explicar cuáles son las áreas de investigación filosófica que voy a incluir en el modelo, y cómo las considero transitoriamente como ‘campos’²⁰⁶ en el proceso de elucidación sistemista que se sigue: áreas filosóficas → campos conceptuales filosóficos → sistemas de campo → sistemas en modelo CES/CESM bungeano.

4.1.2.1 Definiciones filosóficas de tecnología en Bunge y Quintanilla

Considero la tecnología fundamentalmente como un sistema de acciones, por lo que en esta propuesta se hace equivalente la noción de tecnología a la de actividad tecnológica, y por tanto la de tecnologías a la de actividades tecnológicas. Se asume que las actividades tecnológicas son: humanas, sociales, intencionales, creativas²⁰⁷, basadas (al menos en parte) en conocimientos científicos y, en gran medida, de carácter productivo (*cfr.* Bunge, 1963, 1979, 1985, 2004; *cfr.* Quintanilla, 1989, 2005). Como se puede observar, considero las aportaciones de Bunge y Quintanilla en filosofía de la tecnología como materiales básicos de referencia.

²⁰⁴ Una referencia en este sentido se encuentra en Jacob Pleasants y Joanne K. Olson (2018): “What is engineering? Elaborating the nature of engineering for K-12 education”, *Science Education*, 2019; 103:145-166.

²⁰⁵ En Pleasants y Olson (2018: 154-159) aparece el análisis bibliográfico y de contenidos, así como los aspectos resultantes para cada uno de estos apartados. En lo que puede considerarse una visión actualizada y completa, desde un enfoque multidisciplinar, de cómo debería presentarse y comunicarse la ingeniería en la formación pre-universitaria.

²⁰⁶ Se trata de campos, en que se incluyen conceptos relacionados que ponen de manifiesto una estructura del conjunto, de un modo similar a los ‘campos literarios’ de Bourdieu (1991).

²⁰⁷ De acuerdo con Wenceslao González (2015: 5) “la tecnología puede verse como una actividad humana orientada a obtener un dominio creativo y transformador de la realidad –natural, social o artificial– sobre la que se está trabajando”. En González, W. (2015): “On the Role of Values in the Configuration of Technology: From Axiology to Ethics”, en: González (ed.) *New Perspectives on Technology, Values and Ethics*, Springer.

En la década de los años sesenta ya aparece configurada una visión filosófica sistemista de las tecnologías como actividades, como establece Mario Bunge (1963) en su artículo “Tecnología, ciencia y filosofía”²⁰⁸, un artículo que en mi opinión constituye un punto luminoso de ese comienzo de la década de los sesenta del siglo XX, donde también se establece la diferencia entre la técnica y la tecnología: “llamaremos tecnología a todo sistema de técnicas prácticas fundadas [en ciencias], o al estudio de las mismas, distinguiéndola así de la técnica a secas o técnica precientífica (...) El tecnólogo aplica el método científico a problemas de interés práctico. El técnico que usa la tecnología aplica al trabajo las técnicas elaboradas por ésta.” (Bunge, 1963: 68). Además, el autor distribuye los papeles diferenciados entre los científicos, los tecnólogos y los técnicos: “Entre el técnico que trata con situaciones reales, no simplificadas, y que las trata prácticamente, por una parte, y el científico que trata con modelos conceptuales a menudo alejados de la realidad, se ubica el tecnólogo que estudia casos intermedios entre los reales y los puros”²⁰⁹.

Más tarde, en el capítulo “Tecnología y filosofía” de *Epistemología* (Bunge, 1980), el autor presenta la definición de tecnología como un cuerpo de conocimientos si y solamente si: “(i) es compatible con la ciencia coetánea y controlable por el método científico, y (ii) se lo emplea para controlar, transformar o crear cosas o procesos, naturales o sociales.”²¹⁰ Esta redefinición de la tecnología, como sigue señalando el autor, “da cabida en ésta a todas las disciplinas orientadas a la práctica, siempre que practiquen el método científico” (Bunge, 1980: 207).

En este punto traigo de nuevo, como mi referencia básica, la definición de Quintanilla (1989, 2005) en donde presenta la técnica, y por extensión la tecnología y la tecnología ingenieril, como una clase de realizaciones técnicas, y éstas como “*un sistema de acciones intencionalmente orientado a la transformación de objetos concretos para conseguir de forma eficiente un resultado valioso.*”²¹¹ En relación con esta definición se tiene la de sistema tecnológico o sistema técnico, en tanto puede definirse (Quintanilla, 2012: 109) “un sistema técnico como un dispositivo complejo compuesto de entidades físicas y de agentes humanos, cuya función es transformar, de forma eficiente, algún tipo de cosas para obtener determinados resultados característicos del sistema.”²¹²

4.1.2.2 Clasificaciones de tecnología en Bunge y Quintanilla: el lugar de la ingeniería

Algunas de las clasificaciones de tecnologías, realizadas desde la filosofía de la tecnología, como son las de Bunge y de Quintanilla, ponen de manifiesto que lejos de la reducción de otros enfoques, ponen de manifiesto un ámbito amplio para el conjunto de la tecnología. Ya Bunge (1963: 68) distingue, en relación con las ciencias en que se fundan, tres tipos de tecnologías contemporáneas: a) tecnología física (las ingenierías), que se funda sobre la física y la química; b) tecnología biológica (la medicina...) que se funda en la biología y a su vez en la física y la química; y c) tecnología social (derecho, pedagogía...) que presupone

²⁰⁸ Bunge, M. (1963): “Tecnología, Ciencia y Filosofía”, *Anales de la Universidad de Chile*, Enero-Abril de 1963, pp. 64-92.

²⁰⁹ Bunge (1963) “Tecnología, ciencia y filosofía”, p. 84.

²¹⁰ Bunge, M. (1980): *Epistemología. Curso de actualización*, Barcelona: Ed. Ariel, p. 206.

²¹¹ Quintanilla, M.A. (2005): *Op. cit.*, p. 47.

²¹² En todo caso, de acuerdo con Quintanilla (2020, com. personal): “Creo que se abordan mejor estos problemas conceptuales si asumimos que en los diferentes idiomas “tecnología” tiene diferentes usos, por lo que su traducción no es obvia. De todos los usos de la palabra cabe decir que se dividen en dos grupos: aquellos que toman tecnología como una forma de conocimiento (aplicado, empírico, etc.) y aquellos que toman “tecnología” como actividad. Bunge usa el término principalmente en el primer sentido. Yo, en el segundo, pero nuestras conceptualizaciones no son incompatibles, simplemente se refieren a dos cosas diferentes: el conocimiento (práctico) y la acción (eficiente y fundada en el conocimiento).”

las ciencias de la conducta. Aquí ya se pone de manifiesto la presencia de las ingenierías como ejemplo de tecnología física.

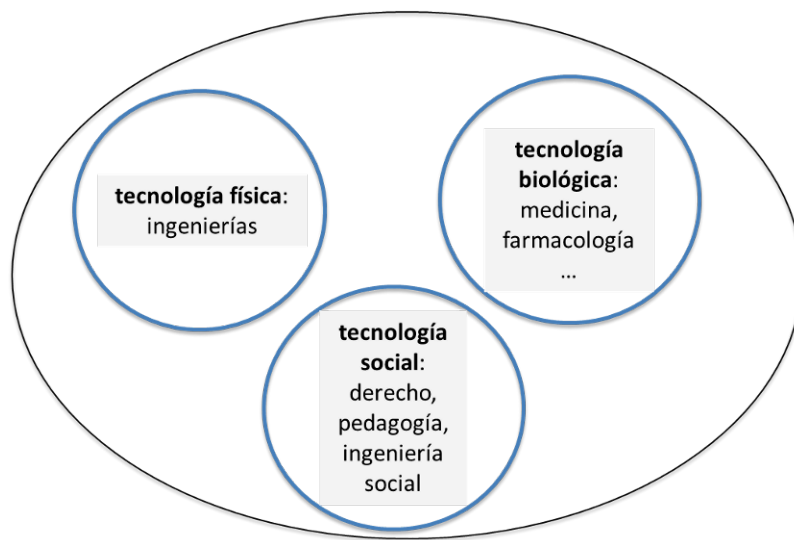


Fig. 4.1.a) Tipos de actividades tecnológicas (fundadas en ciencias), según Bunge (1963)

La visión característica bungeana, de una ‘tecnología amplia’ siempre atiende al caso de las ingenierías, lo que se comprueba cuando más adelante (Bunge, 1980) presenta una clasificación más detallada (y actualizada) de ramas de la tecnología, según sus ciencias de referencia.

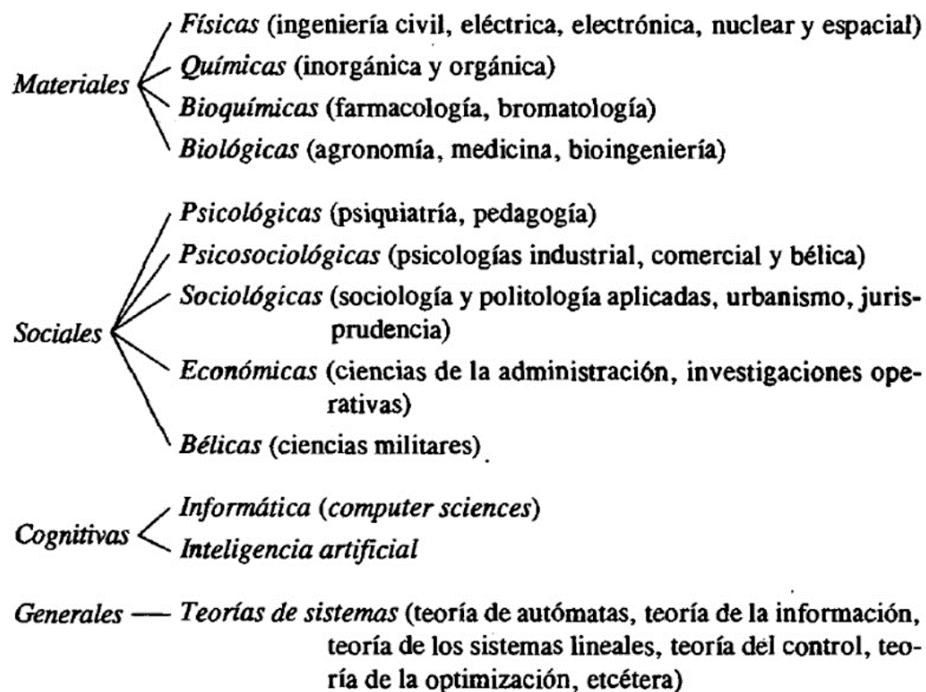


Fig. 4.1.b) Ramas de la tecnología (Bunge, 1980: 207)

A diferencia de la primera clasificación de Bunge, en esta se amplía la demarcación de las tecnologías, al diferenciar las químicas y las bioquímicas, desplegar en mayor medido las de tipo social, e incluir tanto las cognitivas como las generales. Esto refleja también el avance (casi dos décadas) en las tecnologías, así como su mayor complejidad. Como se observa, sitúa la mayor parte de los tipos de ingeniería (civil, eléctrica, electrónica, nuclear y espacial) en las ciencias materiales físicas.

Posteriormente, Bunge (1985) viene a completar y actualizar (junto al de la ciencia) el escenario de las diferentes tecnologías, proponiendo²¹³ cinco campos de investigación en filosofía de la tecnología: ingeniería, biotecnología, sociotecnología, tecnología de la información y tecnología general. Esta clasificación tiene especial interés puesto que además de confirmar la anterior, se hace en la perspectiva de la investigación filosófica de tecnologías, en donde señala la ingeniería (entendible también como tecnología física y química) como una de los campos diferenciables en la filosofía de la tecnología.

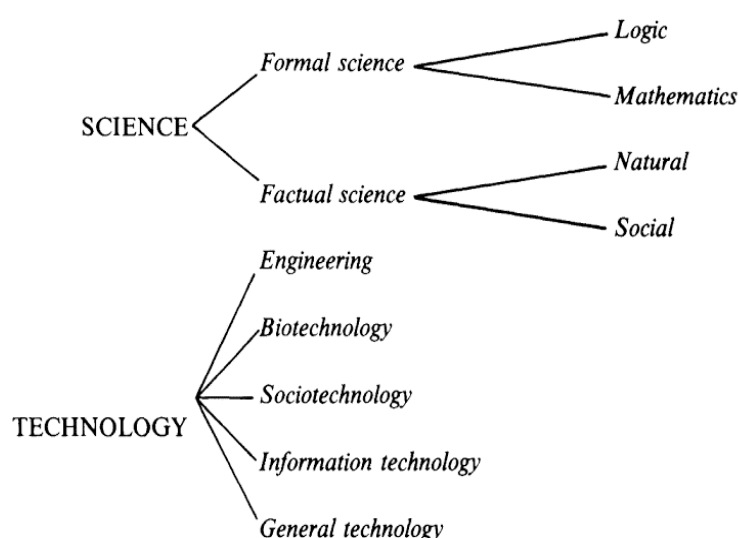


Fig. 4.1.c) Campos de investigación en filosofía de la ciencia y la tecnología (Bunge, 1985: 1)

Por su parte, Quintanilla (2005: 97-102) presenta cuatro posibles clasificaciones de las tecnologías: (i) en función de la naturaleza de los componentes; (ii) atendiendo a los conocimientos y habilidades de los agentes humanos en los sistemas técnicos; (iii) atendiendo a las clases y tipos de acciones involucradas; y (iv) según los tipos de objetivos de un sistema técnico de acciones. En cierto modo, estas clasificaciones corresponden, respectivamente a cuestiones: (i) ontológicas y epistemológicas; (ii) epistemológicas y metodológicas; (iii) ontológicas y praxiológicas; y (iv) ético-axiológicas. Esto es ciertamente relevante, por cuanto analizando este conjunto de cuestiones van a poder explicarse mejor los aspectos, tanto por lo que puede considerarse la ingeniería como una especificación de la tecnología, como por las diferencias entre distintos tipos de ingenierías.

Esto con más razón dada la complejidad creciente tanto de la ciencia como de la tecnología, y de sus interacciones, lo que estaría desbordando el poder explicativo de la clasificación bungeana (de naturaleza exclusivamente epistemológica) de las tecnologías de acuerdo a las ciencias en que se fundan.

²¹³ Cfr. Bunge (1985): *Epistemology & Methodology III: Philosophy of Science & Technology, part. I*, p. 1.

Por esto me interesa poner como ejemplo la primera clasificación de las tecnologías que presenta Quintanilla, en función de la naturaleza de los componentes de las tecnologías, donde el autor señala tres tipos básicos de tecnologías (físicas, biológicas y sociales) de acuerdo a la naturaleza de sus componentes. Pero al mismo tiempo, Quintanilla (2005: 98) pone de manifiesto que “las tecnologías modernas realmente existentes, abarcan componentes de varios tipos”, lo que le lleva a hacer tres consideraciones: “en primer lugar, desde luego, cualquier tecnología con cierto grado de complejidad, y que suponga la intervención de un grupo numeroso de agentes humanos, incluye en su estructura técnicas de organización del trabajo, de gestión y administración que son técnicas específicamente sociales. En segundo lugar, las fronteras entre procesos físicos y biológicos son en ocasiones difíciles de delimitar (...). Por último, la mayoría de las tecnologías sociales incluyen procesos físicos y biológicos: el urbanismo, la comunicación, la educación, la sanidad pública, etcétera.”²¹⁴

A continuación, Quintanilla señala las tecnologías de la información como un caso relevante de tecnologías que abarcan componentes de varios tipos o ‘tecnologías mixtas’, y pone de manifiesto, apelando a las tecnologías de la información, que “es razonable cualquier duda respecto a la consideración de tecnologías como la robótica, la inteligencia artificial, la ingeniería del conocimiento y de las telecomunicaciones como tecnologías similares [a las sociales]”²¹⁵.

En mi opinión, la clasificación de tipos de tecnologías según la naturaleza de los componentes resulta útil, puesto que responde en primera instancia de los componentes fundamentales y por tanto de las ciencias (correlacionado de este modo con la clasificación bungeana de tecnologías) que los consideran, y además aporta una cierta familiaridad con las tecnologías, lo que ayuda a ‘desbordar’ los límites más estrechos en los que habitualmente se confina a la tecnología.

Sin embargo, como acabo de citar, Quintanilla pone de manifiesto que “las tecnologías modernas realmente existentes, abarcan componentes de varios tipos”; y dado el incremento de complejidad, la combinación entre tecnologías y el surgimiento de nuevas tecnologías parecería interesante que esta clasificación pudiera estar más adaptada a estas nuevas condiciones. Entonces puede ser preferible que la clasificación no sea según el componente más importante de la tecnología, sino según la composición (en término de combinación de componentes) de la tecnología.²¹⁶

En todo caso, puede señalarse el interés –en mi opinión– por explorar una clasificación de las tecnologías, y por tanto también de las ingenierías, que tenga presente, además del enfoque epistemológico bungeano, la conjugación de los cuatro tipos clasificatorios de Quintanilla (que combinan aspectos ontológicos, epistemológicos, metodológicos, axiológicos y praxiológicos).

En esta línea se entiende, como se verá más adelante, que las generalidades de la ingeniería como tecnología y sus particularidades como tecnología ingenieril, podrán clarificarse y delimitarse mejor atendiendo al modelo de elucidación filosófica sistémica por el que presento a la ingeniería (tecnología ingenieril) como un sistema complejo de los

²¹⁴ Quintanilla, M.A. (2005): *Op. cit.*, p. 89.

²¹⁵ Quintanilla, M.A. (2005): *Op. cit.*, p. 99.

²¹⁶ Para ello creo que podría prepararse un cuadro clasificatorio, en donde los vértices (casos extremos) serían para cada componente: físico (incluyendo los químicos), biológico, social e información. Esto se convierte en una cartografía de cuatro vértices para los términos extremos y de todo el campo intermedio de combinación de los cuatro componentes para cada una de las tecnologías. La utilidad de esta forma de clasificar por componentes podría quedar reflejada en el caso de volcar los diferentes ejemplos de tecnologías a que se refiere Quintanilla (2005: 97-99).

sistemas: ontológico, semióticos, epistemológico, metodológico, ético-axiológico y praxiológico.²¹⁷

4.1.2.3 Análisis filosófico de la tecnología ingenieril a partir de áreas como campos

En el capítulo anterior se ha anticipado, con el modelo nuclear de elucidación filosófica sistemista, la idea de considerar –transitoriamente– las distintas áreas de investigación filosófica de la tecnología (o de otras actividades humanas) como campos²¹⁸. Este es un paso muy importante para la elucidación, puesto que permite establecer un puente entre los materiales disponibles de numerosas investigaciones filosóficas especializadas, y la estructura del modelo de elucidación filosófica sistemista, que parte del reconocimiento de esos campos. Además, como se ha comentado, la noción que utilizo de campo está reforzando su consideración como sistema, tanto desde una dimensión estructural como desde una perspectiva dinámica.

En este sentido, cuando Ervin Laszlo (1972: 23) quiere poner de manifiesto el cambio de enfoque, hacia uno sistemista, que supone pasar del estudio de ‘entidades sustanciales a entidades relacionales’ pone el ejemplo de cómo “la nueva física trata [más que con entidades particulares, como masas en movimiento] con secuencias ordenadas de eventos, formando todos (...). El constructo general para esos todos ordenados, es el de *campo*.”²¹⁹

Asimismo, entiendo que estos campos permiten a su vez representar ‘espacios de estados’ en un enfoque que, en la filosofía, como señala Bunge (2001: 66) “no necesita definirse ninguna función de estado particular, tan sólo debe suponerse la existencia de funciones de estado. Con esto basta para definir un evento como un par de estados, un proceso como una secuencia de estados, y un cambio cualitativo como el salto de la punta de un estado a un espacio de dimensionalidad diferente.”²²⁰

Los campos que considero (ontológico concreto, epistemológico, metodológico y axiológico) se plantean como ‘contenedores’ provisionales para los diferentes elementos que se están considerando en las correspondientes disciplinas filosóficas cuando están orientadas al estudio de la tecnología. Pero la idea de campo tiene más recorrido, puesto que se concibe para establecer una aproximación a sus componentes y a desvelar una cierta estructura que pueda ponerse de manifiesto, bien en razón de la naturaleza o tipo de componentes, en su grado de complejidad, o en su carácter central o periférico dentro del campo considerado.

Por último, debo señalar que con este uso de la noción de campo –debido a su dimensión espacial, que refleja una cierta estructura– también quiero empezar a poner de manifiesto la importancia que va a tener la representación gráfica a lo largo de toda la elucidación filosófica de tecnologías ingenieriles. Está en mi empeño que, al tiempo de la elucidación discursiva, se acompañe de una ‘elucidación representacional’, por así llamarla. Las representaciones

²¹⁷ En relación con esta cuestión, Quintanilla (2020, com. personal) plantea: “Yo creo que la diferencia fundamental está en la clasificación de las tecnologías de la información. Se pueden adoptar dos posiciones: un nuevo género de tecnologías “genéricas”, o una tecnología mixta (física y cultural), como propongo en mi libro. Quizá ambas opciones pueden convivir: la robótica es una tecnología socio – física (¿???)”

²¹⁸ Así, en el apartado 3.1.4.1 ‘Las áreas filosóficas como campos y los campos como dominios de objetos’ planteo cómo voy a pasar contenidos seleccionados de las áreas filosóficas más importantes en filosofía de la tecnología (ontología, epistemología, metodología, axiología...) para constituir ‘campos’ (en un sentido aproximado al de Bourdieu, 1991), que no son solamente equivalentes al de ‘área’ de conocimiento, sino que intentan poner de manifiesto los elementos más relevantes, las relaciones entre distintos elementos, y una cierta estructura. Todo esto como un paso intermedio por el que se llega, pasando por los ‘sistemas de campo’, hasta llegar a los sistemas según el modelo CES/CESM (componente, entorno, estructura, y mecanismo) bungeano.

²¹⁹ Laszlo, E. (1972): *Introduction to Systems Philosophy*, Nueva York, Harper.

²²⁰ Bunge, M. (2001): *Diccionario de filosofía*, México, Siglo XXI eds.

gráficas no quieren ser un mero recurso gráfico complementario, sino que pretenden ayudar a poner de manifiesto relaciones y estructuras que el discurso difícilmente puede alcanzar, tanto para los campos como posteriormente para los sistemas de campo y sistemas funcionales.

En lo que conozco, esta idea de utilizar representaciones gráficas para investigaciones filosóficas, es novedosa. No obstante, estoy convencido de que su utilidad queda acreditada como apunta la especialista en sistemas Donella H. Meadows en su *Thinking in Systems* (2009: 5) cuando señala que resulta problemático tratar sobre sistemas solamente con palabras y frases, puesto que mientras que éstas siguen un orden lineal, “en los sistemas todo ocurre al mismo tiempo. Están conectados no solo en una dirección, sino en muchas direcciones simultáneamente. Para abordarlos con propiedad, es necesario usar un lenguaje que comparta alguna de las propiedades del fenómeno que se está tratando. En este lenguaje, las imágenes funcionan mejor que las palabras, porque uno puede ver todas las partes de la imagen al mismo tiempo.”²²¹

Por este motivo, y dado que no se dispone de recursos gráficos de representación que sean de uso comúnmente aceptado –y aún menos en las disciplinas filosóficas– optaré por ir desarrollando y explicando la simbología y notaciones que voy a adoptar.²²²

4.1.3 Especificaciones del problema y requisitos de *explicatum* de la ingeniería

Las especificaciones del problema (tecnología ingenieril) como *explicandum*, pueden establecerse en primera aproximación a partir de lo que podrían llamarse las ‘preguntas (filosóficas) sobre la tecnología’. Esto es, sería el conjunto de rutas abiertas de reflexiones filosóficas en materia de tecnología. Una primera referencia de partida para abordar esta cuestión la aporta Quintanilla (2005: 173) cuando afirma que “la tecnología actual no sólo es hija o constituyente esencial de la más profunda dimensión de la realidad humana; también es un componente ineludible de la cultura industrial y urbana actual, un factor decisivo en la competitividad económica, una fuente continua de creatividad e innovación social, un ámbito decisivo de debate político y el origen de nuevos retos morales, educativos y culturales.”

El autor manifiesta que todas estas dimensiones de la tecnología son relevantes para una filosofía de la tecnología, planteando²²³ entonces que esta disciplina académica se articule en torno a tres grandes tipos de cuestiones (ontológicas, epistemológicas y axiológicas), para cada una de las cuales plantea a su vez los problemas más importantes que deberían tenerse en cuenta. Así, para Quintanilla (2005: 173-174): “entre las *cuestiones ontológicas* la más importante es la delimitación del concepto mismo de sistema técnico y otros relacionados [objeto técnico o artefacto, realización técnica, instrumento, herramienta, máquina].” Siguiendo con las epistemológicas, “las más importantes son las relativas al análisis del conocimiento técnico y de los procesos de invención tecnológica”. Finalmente, entre las axiológicas “están todas las relacionadas con la evaluación y el control de las tecnologías. En especial las cuestiones relativas a la valoración de las opciones tecnológicas y de las consecuencias del desarrollo tecnológico.”

²²¹ Meadows, Donella H. (2009); Wright, Diana (ed.): *Thinking in Systems. A Primer*, London, Earthscan.

²²² Espero poder seguir, en la medida de lo posible, el proceso de Meadows (2009: 5) “construiré las imágenes de los sistemas gradualmente, empezando con unas muy sencillas. Creo que se entenderá fácilmente este lenguaje gráfico”. Se refiere la autora a la representación de sistemas funcionales *input/output*, que en mi caso utilizaré en parte para representar los sistemas funcionales praxiológicos.

²²³ Como resultado de la aplicación de dos reglas (Quintanilla, 2005: 18): Primera regla: “No deberíamos pretender aclarar de golpe todos los problemas que el desarrollo tecnológico plantea a la humanidad en nuestro tiempo”, y Segunda regla: “Tomar como objeto de la reflexión del filósofo no –una vez más– viejas ideas o prejuicios acerca de la esencia y de la existencia, sino problemas reales de la tecnología actual”.

Para continuar, completaré la nómina de cuestiones con las que presenta Bunge (1985: 235) cuando señala, con la problemática como uno de los elementos de su once-tupla, que en una tecnología dada (especialmente en la ingenieril, como puede observarse) dada pueden distinguirse los siguiente tipos de problemas:

(a) problemas de dominio, como ‘¿Sobre qué es la ingeniería: máquinas o sistemas hombre-máquina?’ (...); (b) problemas filosóficos, como ‘¿Cuáles son las diferencias entre artefactos y cosas naturales?’ ‘¿La orientación pragmática del tecnólogo es compatible con el realismo científico?’ (...); (c) problemas de conocimiento formal (...); (d) problemas de antecedentes específicos, tales como ‘¿Cuánta física atómica y nuclear necesita la ingeniería actual?’ o ‘¿Cuáles son los presupuestos biológicos, psicológicos y sociológicos de un código de derecho dado?’; (e) problemas de problemática como ‘¿Este problema práctico está bien concebido y formulado?’ o ‘¿Qué problemas de gestión vale la pena investigar hoy en día?’; (f) problemas de fondo de conocimiento, tales como ‘¿Por qué la arquitectura avanza tan lentamente?’ o ‘¿Tiene una base sólida la teoría de decisiones?’; (g) problemas de objetivos, tales como ‘¿Debería el tecnólogo innovar en aras de la novedad?’ o ‘¿Cómo puede la industria de la guerra convertirse en una industria de la paz?’; y (h) problemas metodológicos, como ‘¿Cómo puede medirse el rendimiento de un sistema (en particular, uno sociotécnico)?’ o ‘¿Cómo se mide el riesgo?’.

Creo que las anteriores cuestiones y problemáticas ofrecen un panorama amplio de preguntas filosóficas sobre la tecnología, y por tanto sobre la tecnología ingenieril. Pero entre las de Quintanilla y las de Bunge hay una diferencia. Las cuestiones del primero tienen un carácter común y general, de forma que cualquier modelo de elucidación filosófica sistémica de tecnologías (MEFS_tec), como *explicatum*, debería aspirar a dar, en alguna medida, satisfacción a esas cuestiones. Sin embargo, las problemáticas tipo que presenta Bunge son en cierto modo una guía (como ejemplo) para analizar la problemática subyacente a determinadas tecnologías, de modo que el presente modelo (MEFS_tec-ing) deberá tener en cuenta las problemáticas específicamente ingenieriles de entre las que se han expuesto más arriba a partir de Bunge (1985: 235).²²⁴

A estas cuestiones pueden agregarse otras, relacionadas con la ‘naturaleza de la ingeniería’ (*nature of engineering*, NOA), que se ha mostrado antes como ejemplo (en tanto *explicandum*) de una visión multidisciplinar, actualizada e inteligente sobre la ingeniería. Así, algunas de las cuestiones que se plantean en Pleasants y Olson (2018: 161) serían: “¿Qué significa para un ingeniero diseñar una tecnología? ¿En qué medida es diferente el diseño ingenieril del diseño en otras disciplinas? (...) ¿Cómo usan los ingenieros el conocimiento de otras disciplinas, como las científicas? ¿Qué tipos de conocimientos son internos para la disciplina ingenieril? (...) ¿Qué tipo de actividades tecnológicas no hacen generalmente los ingenieros? (...) ¿Hasta qué punto se captura el trabajo real de los diseñadores con los modelos de procesos de diseño? ¿De qué modo deberían pensar los ingenieros en la sociedad cuando hacen su trabajo? ¿Cuáles serían las características, de existir como tal, de una ‘cultura ingenieril’? ¿Cómo se influyen entre la ciencia y la ingeniería?”²²⁵

²²⁴ Quintanilla (2020, com. personal) explica esta diferencia: “Yo creo que la ‘diferencia’ es de alcance. Yo me refiero a tipos de problemas filosóficos y Bunge a problemas concretos de diversos tipos.”

²²⁵ Jacob Pleasants y Joanne K. Olson (2018): “What is engineering? Elaborating the nature of engineering for K-12 education”, in *Science Education*, 2019; 103: 145-166, p. 161.

Estas cuestiones relevantes son parte de los problemas filosóficos para los que la elucidación pretende dar una respuesta satisfactoria. Esa respuesta debe atender a una serie de requisitos de adecuación generales, que tienen un valor orientativo. Para ello se cuenta en primer lugar con los cuatro requisitos generales carnapianos (semejanza, exactitud, fertilidad y simplicidad). A estos les voy a sumar dos requisitos del método elucidatorio de Strawson (1992), como es el de una investigación unificada (ontología, epistemología y lógica), y los criterios para conceptos básicos (generalidad, irreductibilidad y no contingencia). Estos criterios se completan con los derivados de todas las aportaciones de Bunge y Quintanilla a favor de un enfoque sistemista de la filosofía de la tecnología, como queda avanzado en el modelo base de elucidación filosófica sistemista de la tecnología, que he denominado como modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de tecnologías.

Se tiene en cuenta, en todo caso, que para la tecnología como *explicatum*, el modelo de tecnología como *explicandum* pueda ser de aplicación para todos y cada uno de los tres grandes tipos de tecnologías según cuales sean las disciplinas científicas en que estén fundadas (*cfr.* Bunge, 1963, 1985; *cfr.* Quintanilla, 1989, 2005): tecnologías físicas, tecnologías biológicas y tecnologías sociales. Para su comprobación, pueden utilizarse como mínimo una actividad representativa de cada uno de estos grupos, respectivamente: ingeniería, medicina y administración. A estas tres actividades se le puede sumar una tecnología como la informática, considerable tanto como tecnología de la información (*cfr.* Bunge, 1985) como tecnología de tipo mixto (*cfr.* Quintanilla, 1989: 80) como la informática.²²⁶

De este modo, aunque el modelo que se va a elaborar de elucidación filosófica sistemista de tecnologías ingenieriles (MEFS_tec-ing) tenga esta específica orientación hacia la ingeniería, contiene en sí mismo todos los elementos generales que compartiría con el resto de las grandes clases de tecnologías. Podría servir así, en mi opinión, a salvedad de las especificidades de la ingeniería, como punto de partida para elucidaciones filosóficas sistemistas de otros géneros y especies tecnológicas.

En el capítulo anterior se ha sugerido que el diseño –en un amplio sentido– puede considerarse como una operación básica, e incluso característica, de la elucidación filosófica. Se han presentado algunos avances y bases que sirven para enmarcar este proceso recursivo de elucidación filosófica mediante diseño. En ese apartado nos encontramos con que hemos llegado a disponer de unas bases generales para la elucidación filosófica de actividades tecnológicas; unas bases que tienen ahora que irse particularizando mediante el diseño de un modelo de elucidación filosófica sistémica de tecnologías ingenieriles (MEFS_tec-ing).

Como se ha planteado, la primera actividad de la fase del diseño elucidatorio consiste en la adopción de un modelo básico que pueda servir como modelo nuclear para avanzar en el proceso elucidatorio. En este caso, una vez que se ha presentado el modelo nuclear Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de tecnologías (MEFS_tec), y de acuerdo con la ruta general elucidatoria (tecnologías > ingenierías > ingeniería ambiental sanitaria), voy a adoptar este modelo como punto de partida para avanzar en el diseño elucidatorio de filosofía sistemista de la ingeniería.

²²⁶ Se entiende que en la medida en que el modelo de elucidación filosófica sistemista de tecnologías pueda ser de aplicación para esas cuatro diferentes actividades tecnológicas es un modelo del nivel de la familia de las tecnologías; evitando de esta manera que en el modelo de tecnologías aparezcan componentes, entorno o relaciones (estructura) que sean específicos de un tipo de tecnologías. Un riesgo que en este caso podría producirse precisamente para el caso de las ingenierías o tecnologías ingenieriles, dado que la elucidación va a seguir por esa ruta.

Tal y como se ha mencionado en el apartado de metodología, la fase de diseño elucidatorio, una vez seleccionado el modelo de elucidación filosófica de referencia (MEFS_tec), se sigue con la definición de las especificaciones y requisitos de mayor detalle para la solución del problema, como es en este caso la elucidación filosófica de una tecnología ingenieril. En este caso, se incluye como requisito adicional para el diseño del modelo de elucidación filosófica sistemista de tecnologías ingenieriles, el enfoque de filosofía de sistemas de Laszlo (1972). En su presentación de sistemas sociales los considera, desde una perspectiva dinámica, funcional, como una función de cuatro variables independientes. Para Laszlo (1972: 98) un sistema social (Riii) se presenta como:

$R_{iii} = f(\alpha, \beta, Y, \delta)$, donde:

α , es una variable independiente que da cuenta de la propiedad de estado sistémico, tomando en cuenta dos diferentes características, por una parte, la completitud del sistema, y por otra parte el orden del sistema;

β , que es una variable socio-cibernetica, que se refiere a la propiedad de auto-estabilización adaptativa del sistema;

Y , que es otra variable socio-cibernetica, que se refiere a la propiedad de auto-organización adaptativa del sistema; y

δ , que es una variable sobre las propiedades ‘holon’, que se refiere tanto a la jerarquía intrasistémica como a la jerarquía intersistémica.

Entonces, este conjunto de propiedades que caracterizan a un sistema social, siguiendo a Laszlo (1972), van a considerarse también como criterios o requisitos del proceso de elucidación sistemista de tecnologías ingenieriles.

Asimismo, a la hora de analizar cada uno de los diferentes sistemas que se tratan en el modelo de elucidación filosófica sistemista de tecnologías ingenieriles se incorporan tanto las especificaciones como los requisitos particulares que corresponden a ese nivel elucidatorio, como las referencias bibliográficas y documentales más relevantes.

Aunque, como es natural, se han avanzado algunas de las propuestas a las que se va a llegar en el proceso elucidatorio, en los apartados siguientes se va a exponer con el detalle adecuado: (i) el campo ontológico concreto y el paso del tecnosistema s.s. bungeano para llegar a ser considerado como sistema de campo ontológico material, con la relevancia que tendrá convertirse en el único sistema concreto de todo el sistema complejo, como ‘mundo material de la ingeniería’; (ii) la consideración de este campo ontológico como sede natural de un componente diferenciado como son los agentes humanos, incluyendo su capacidad de articulación –a través de los lenguajes como sistemas semióticos– de ese mundo material con el mundo conceptual de la cultura (epistemológica, metodológica, y ético-axiológica) ingenieril; (iii) la transformación de los distintos sistemas conceptuales de campo (epistemológico, metodológico, y ético-axiológico) en el complejo cultural ingenieril de los correspondientes sistemas conceptuales epistémico, metodológico, y ético-axiológico de la ingeniería; (iv) el enfoque dinámico funcional del sistema complejo mediante: la consideración del sistema de acciones como sistema funcional praxiológico, acoplado a los otros sistemas desde el componente ‘agentes’ del sistema concreto del campo ontológico, y que es un vector de las funciones del supersistema; (v) la historicidad del sistema complejo de la ingeniería, tanto desde la dinámica de cambio interna en los sistemas componentes, como en la resultante de cambio histórico de la ingeniería.

4.2 AVANCES EN MODELO BUNGE-QUINTANILLA DE ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA

En el capítulo anterior se ha presentado el modelo nuclear de elucidación filosófica de tecnologías, bajo un enfoque que estoy denominando ‘modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista’. Por eso, en este punto del proceso elucidatorio, entre el *explicandum* y el *explicatum* (capítulo 5) de la tecnología ingenieril (ingeniería), quiero seguir aclarando qué conceptos, ideas, teorías de carácter ontológico, semiótico, epistemológico, metodológico, ético-axiológico y praxiológico pueden caracterizar una tecnología (general), aunque orientada hacia la tecnología ingenieril (ingeniería)²²⁷. El objetivo que persigo es considerar como sistema cada una de estas disciplinas filosóficas, y al tiempo integrarlas como un sistema de sistemas, lo que supone pensar la tecnología ingenieril como sistema complejo.

Pero el punto de partida de cada una de estas materias es tan distinto que, para alcanzar tal objetivo, es necesario desarrollar varios aspectos a lo largo de este apartado. Esto lo hago transformando lo que he venido denominando como ‘campos’²²⁸ (que a su vez proceden de las áreas o disciplinas de la filosofía de la tecnología) en ‘sistemas de campo’, como una denominación provisional –solamente durante el desarrollo de este apartado– intermedia entre los ‘campos’ y el modelo de sistemas bungeano CESM (componentes, entorno, estructura y mecanismos). Esta transformación la aplico a la ontología material (agentes y objetos concretos), epistemología, metodología y ética-axiología; al tiempo que voy poniendo de relieve notas específicas de la tecnología ingenieril, donde entran en juego, respectivamente: los agentes (comunidad profesional ingenieril) y los artefactos ingenieriles (incluyendo recursos y productos); los trasfondos de conocimiento (matemático, científico...) y los conocimientos (primarios y secundarios) ingenieriles; los métodos ingenieriles (de diseño, de producción, de gestión...); y los valores y ética ingenieril.

También desarrollo aquí los lenguajes y sistemas gráficos de la tecnología, como sistemas semióticos, cuya dualidad característica como sistema mixto (concreto-abstracto) permite establecer un puente desde el sistema óptico concreto –a través de los miembros de las comunidades profesionales ingenieriles– con las entidades abstractas que componen los sistemas conceptuales de la ingeniería. En particular, se analizan los tipos de información (representacional, práctica y valorativa) que circula (relacionando componentes) gracias a los lenguajes y sistemas gráficos ingenieriles.

Finalmente estarían los sistemas de acciones o sistemas funcionales praxiológicos, que a diferencia de los anteriores, no se ajustan al esquema de sistemas bungeano CES (componentes, entorno, estructura), sino a un modelo sistemista funcional (*inputs-outputs*) que representa procesos o mecanismos. Por esto, siguiendo el modelo de sistemas CESM, los mecanismos (M) de la tecnología ingenieril (como sistema complejo) serían los sistemas funcionales praxiológicos; que dan cuenta de las acciones, no solamente las que interesan a los sistemas técnicos ingenieriles de producción, sino también de las acciones que permiten la

²²⁷ En el paso intermedio que representa este apartado, desarrollo un análisis de la tecnología (general), aunque con una clara orientación –cuando es necesario– a la tecnología ingenieril (ingeniería). Cuando el proceso elucidatorio sirva al nivel abarcante de la tecnología, me referiré a esta de forma genérica. Cuando sea necesario, en cambio, especificar lo correspondiente a una tecnología ingeniería, me referiré indistintamente a ‘tecnología ingenieril’ o ‘ingeniería’. Esto permitiría, eventualmente, partir de este apartado para, en su caso, proceder con otra ruta de elucidación como podría ser la de las biotecnologías o tecnologías sociales.

²²⁸ Se recuerda la noción de estos ‘campos’ (en un sentido aproximado al de Bourdieu, 1991), que no son solamente equivalentes al de ‘área’ de conocimiento, sino que intentan poner de manifiesto los elementos más relevantes, las relaciones entre distintos elementos, y una cierta estructura. Todo esto como un paso intermedio por el que se llega, pasando por los ‘sistemas de campo’, hasta llegar a los sistemas según el modelo CES/CESM (componente, entorno, estructura, y mecanismo) bungeano.

continuidad en el tiempo de las comunidades profesionales ingenieriles, los procesos de cambio tecnológico ingenieril, así como la gestión general del sistema complejo ingenieril. Respecto a los sistemas praxiológicos, el cometido en este apartado consiste en definir un primer esquema (tipo *input-output*) que pueda representar adecuadamente las acciones de los agentes y de los objetos del sistema ontológico concreto, así como la participación en ellas –a través de los agentes, mediante los sistemas semióticos– de los componentes abstractos de los sistemas conceptuales.

4.2.1 Sistema de campo ontológico material de una tecnología ingenieril

Ya se ha señalado que los componentes concretos básicos de una tecnología, según los identifican Bunge (1985) y Quintanilla (2005), pueden considerarse como un conjunto de objetos materiales denominables como ‘campo ontológico material’. También se ha observado que los componentes elementales de este campo ontológico, incluyendo sus relaciones y entorno, coinciden básicamente con la noción de tecnosistema de Bunge. Cuando combinamos estas dos observaciones resulta que ya puede hablarse de ‘sistema de campo ontológico material’ de una tecnología ingenieril, lo que vendría a ser algo así como el ‘mundo material’²²⁹ de una ingeniería.

El sistema del campo ontológico (concreto) constituye la base material del sistema complejo de una ingeniería dada. Una tecnología ingenieril que se contempla desde una perspectiva general o trasfondo filosófico de “una ontología de cosas legalmente cambiantes, en particular de cosas bajo control humano” (Bunge, 1985: 232).

Esta ontología de base materialista es compatible con la posibilidad de reconocer un estatus ontológico para los objetos abstractos o entidades abstractas constituidas, de naturaleza conceptual²³⁰, pero que de acuerdo con los criterios de Bunge, no podrán ser componentes de un sistema material o concreto. Esta cuestión se ha resuelto en tanto que los sistemas de campo epistemológico, metodológico y ético-axiológico, que se tratan más adelante, estarán compuestos exclusivamente por entidades abstractas. Por eso, puede señalarse que la ontología completa de una ingeniería dada estaría comprendida, además de por los componentes concretos del sistema de campo ontológico material, los componentes de los sistemas semióticos, y por los componentes conceptuales de los sistemas de campo epistemológico, metodológico y ético-axiológico. Sin embargo, cuando (antes o después) hablo de sistema de campo ontológico lo hago siempre apuntando que me refiero al formado por entidades materiales, concretas.

La estructura básica para este sistema de campo ontológico concreto seguirá²³¹ hasta el modelo bungeano CES: composición (C), entorno (E) y estructura (S).²³² De acuerdo con este

²²⁹ Entiendo que esta noción de ‘mundo material’ sería conforme con la propuesta de Falguera (2011: 41): “El Principio de Autonomía Óptica del Mundo-con-soporte-físico (PAOM): El mundo-con-soporte-físico, que es objeto del conocimiento empírico, tiene estructura y mobiliario con independencia de la manera en que lo conceptuemos y lo conozcamos conjuntamente.”

²³⁰ Así, también en Falguera (2011: 42): “Hablar de un mundo-con-soporte-físico supone: por un lado, no rechazar que el mundo (en general) incluya modalidades diferentes de la física, como la abstracta y la de entes de ficción; y, por otro lado, que el mundo-con-soporte-físico puede tener extractos o niveles que devienen del físico (aunque no se reduzcan a él), como el bioquímico, el biológico o el mental.”

²³¹ La transformación del ‘sistema de campo’ en sistema CES supone la identificación, de entre los elementos del sistema de campo, de aquellos que pueden considerarse como componentes (C) del sistema, como entorno (E), y de la estructura (S), lo que se desarrolla con mayor detalle en el capítulo siguiente.

²³² Aunque el modelo sistémico más avanzado de Bunge es el CESM, se ha optado por el modelo anterior, más sencillo, que incluye: componentes, entorno y estructura (CES) para caracterizar básicamente los sistemas de campo, que son subsistemas del supersistema de una tecnología. No se ha considerado ahora que fuera necesario, para los sistemas y subsistemas de campo, elucidar su mecanismo (M).

modelo y para caracterizar básicamente el sistema de campo ontológico concreto, se parte de cuatro referencias: (i) la identificación de un tecnosistema en Bunge ([1979] 2012: 266); (ii) la caracterización de Bunge (1985) de los elementos de una tecnología; (iii) la descripción estándar u ontológica de una técnica según Quintanilla (2005: 91)²³³; y (iv) los componentes materiales del conjunto de cuestiones ontológicas relevantes para una tecnología (Quintanilla, 2005).

Como se ha visto, cuando Bunge ([1979] 2012: 266) identifica un tecnosistema tiene presente que: (i) su composición incluye a seres humanos y artefactos; (ii) su entorno incluye componentes de una sociedad; y (iii) su estructura incluye la producción, mantenimiento o utilización de artefactos. Se entiende que, con esto, el autor está identificando el mínimo de elementos necesarios para caracterizar un tecnosistema.

Más adelante, en Bunge (1985) se procede a presentar los tres elementos (comunidad profesional, Ct; dominio de entidades reales, Dt; y sociedad, St)²³⁴ de entre los once de la caracterización bungeana de una tecnología, que podrían agruparse en el campo ontológico²³⁵ material. Entre una y otra caracterización se encuentran ciertos ajustes; así puede verse cómo un genérico ‘seres humanos’ (Bunge, 1979) pasa a especificarse como colectivo en ‘comunidad profesional’ (Bunge, 1985), y cómo los ‘artefactos’ (Bunge, 1979) se amplían en todos los sentidos hasta un ‘dominio de entidades reales’ (Bunge, 1985).

Por su parte, el dominio de una tecnología (Dt) “está compuesto exclusivamente por entidades (certificadas o putativamente) reales, pasadas, presentes o futuras, algunas naturales y otras artificiales” (Bunge, 1985: 232). El autor señala como ejemplo de artefactos: “puentes y planos, herramientas y máquinas para construirlos” (Bunge, 1985: 234). El sistema social de la comunidad profesional se encuentra alojado en la sociedad (St) “(completa con su entorno [ambiente], economía, política y cultura) que aloja C y alienta o al menos tolera las actividades profesionales de los miembros de C” (Bunge, 1985: 231).

Esta primera asignación que hace Bunge de tres elementos de una tecnología, propios del campo ontológico material, permite identificar ya dos componentes básicos y un entorno del sistema de campo ontológico. Los componentes serían: la comunidad profesional (como sistema social), y las entidades reales, tanto naturales como artificiales (artefactos). En cambio, las relaciones (de producción, mantenimiento y utilización) que se mencionan al caracterizar un tecnosistema, no van a formar parte como tales del sistema del campo ontológico concreto, sino que formarán parte del sistema de acciones (o sistema funcional praxiológico) como mecanismo del sistema complejo ingenieril.

Por otro lado, el modelo sugerido por Quintanilla (2005) atiende a cuatro conjuntos de elementos: agentes intencionales, componentes físicos, acciones involucradas y resultados. Destaca por su especial valor e implicaciones, la noción de ‘agentes intencionales’, así como

²³³ Descripción estándar u ontológica de una técnica, entre los que se cuenta, según Quintanilla (2005: 91): “una descripción de los componentes físicos en términos de las propiedades relevantes para las acciones e interacciones que se van a considerar en ellos (...), una descripción de los agentes intencionales en términos de sus objetivos de acción, sus conocimientos operacionales y sus habilidades (...), una descripción de las acciones involucradas en términos reducibles a descripciones de cambios de estado en sistemas complejos (...) y una descripción igualmente ‘naturalista’ de los resultados en términos de artefactos, procesos o estados terminales de los componentes materiales de la técnica”.

²³⁴ Como se observará, a partir de este punto utilizo una nomenclatura mediante la que, para aquellos componentes que están identificado ya en Bunge (1985) con una letra mayúscula les añado una ‘t’ minúscula, representativa de que los elementos del modelo ya son de una tecnología. Por otra parte, procederé a identificar aquellos nuevos componentes que se incorporan a la descripción.

²³⁵ También hay dos elementos de esa tupla que no son materiales sino conceptuales pero que hacen referencia a aspectos ontológicos, como son el transfondo filosófico (Gt) y la problemática (Pt), ambos incluidos genéricamente en el campo axiológico.

la referencia a acciones y resultados, poniendo el énfasis en los sistemas de acciones intencionales que están en la base de la consideración de la tecnología como actividad.

En este punto conviene incluir las reflexiones o inquietudes del autor acerca de algunas de las cuestiones más relevantes de naturaleza ontológica que deberían ser investigadas. Así, de acuerdo con Quintanilla (2005: 173): “entre las cuestiones *ontológicas* la más importante es la delimitación del concepto mismo de sistema técnico y otros relacionados, entre ellos, los siguientes: objeto técnico o artefacto, realización técnica, modificación, ampliación de técnica, instrumento, herramienta, máquina, etc. Nociones básicas para la ontología de la técnica son las de agente, acción, acción intencional, plan de acción, sistema, acontecimiento, causa, efecto, resultado, producto, proceso, consecuencia de una acción, objetivo de una acción.” En gran medida, estas nociones básicas de la ontología de la técnica que menciona Quintanilla, ya han sido previamente tratadas detalladamente en Quintanilla (1989), en los capítulos “Fundamentos de la ontología de la técnica” y “La estructura de los sistemas técnicos”.

Al solicitar, como la más importante cuestión ontológica, la ‘delimitación de conceptos’, Quintanilla está proponiendo una elucidación de términos, entre los que pueden señalarse objetos concretos que claramente deberían formar parte de los componentes del campo ontológico concreto: objeto técnico o artefacto, instrumento, herramienta y máquina. También se señala la importancia de las nociones (como agentes y objetos concretos) de: agente y producto. Entre estos componentes puede destacarse la incorporación de elementos concretos del grupo de los objetos técnicos, y especialmente la noción de producto, un componente importante en el sistema ontológico de una tecnología²³⁶, que se identifica claramente por Quintanilla.

Hasta el momento, la contribución desde Quintanilla (2005) a la nómina de componentes del sistema de campo ontológico concreto incluye: agentes (agentes intencionales) y componentes físicos (no intencionales), entre los que pueden identificarse la materia prima, la energía, los artefactos y los productos, como resultados. El resto de las nociones identificadas en Quintanilla (2005: 173) son cuestiones muy relevantes²³⁷, pero no van a considerarse en este sistema de campo ontológico concreto (que presenta agentes y objetos), sino en el sistema de acciones (sistema funcional praxiológico).

De este modo, las observaciones tanto de Quintanilla como de Bunge permiten por una parte establecer elementos del sistema de campo ontológico concreto de una tecnología ingenieril, y por otra enviar ‘componentes’ a lo que será el sistema funcional praxiológico. A partir de los elementos identificados por Bunge (1979, 1985) y Quintanilla (1989, 2005) pueden establecerse una serie de conjuntos de componentes, de su entorno y sus relaciones, que podrían, conforme al modelo sistémico bungeano CES, constituir un sistema de campo ontológico (concreto) de una tecnología.

A partir de lo anterior, en la figura adjunta expongo lo que sería una representación del conjunto mínimo de componentes para un sistema de campo ontológico material de una

²³⁶ Sin embargo, considerar el ‘producto’ como un componente genérico del campo ontológico material de una tecnología podría condicionar, en cierto modo, la generalidad de este modelo (en nivel de tecnologías, o de familia) a favor de la visión de la tecnología como “técnicas industriales de base científica” (Quintanilla, 2005: 46). Voy a considerar estas técnicas industriales de base científica como tecnologías ingenieriles y, por tanto, reservar un desarrollo más detallado del ‘producto’ en el modelo al siguiente nivel, el genérico o de tecnologías ingenieriles.

²³⁷ Se trata de cuestiones de interés y nociones básicas para una ontología de la tecnología (*cfr.* Quintanilla, 2005: 173), diferentes de los agentes y objetos concretos que estoy incluyendo como componentes (C) del sistema ontológico concreto, pero que entiendo que son nociones que encajan mejor en los sistemas de acciones (sistemas funcionales praxiológicos, según propongo), como: realización tecnológica, modificación tecnológica, ampliación tecnológica, acción, acción intencional, plan de acción, acontecimiento, causa, efecto, resultado, proceso de una acción u objetivo de una acción.

tecnología ingenieril. Insisto en que estoy identificando y representando los elementos componentes, y que la dimensión dinámica de los mismos se considera en otros apartados (singularmente en el sistema praxiológico de la tecnología ingenieril). En esta propuesta base se incluyen los componentes, con las referencias bibliográficas²³⁸ en que aparecen descritos. En esta representación he incluido también al entorno (de acuerdo al modelo sistémico CES) que sería el correspondiente, en su caso, a cada uno de los componentes identificados. Así, el entorno de los agentes, y muy especialmente de la comunidad profesional, sería la sociedad, que ya es identificada explícitamente como entorno de la tecnología en Bunge (1979). Utilizando la ‘sociedad’ en tanto elemento identificado por Bunge, se entiende a su vez como espacio de contacto de tres subsistemas: económico, político y cultural. Además del entorno, también sugiero (mediante flechas) una serie de relaciones entre los distintos componentes, que reproducen una cierta estructura.

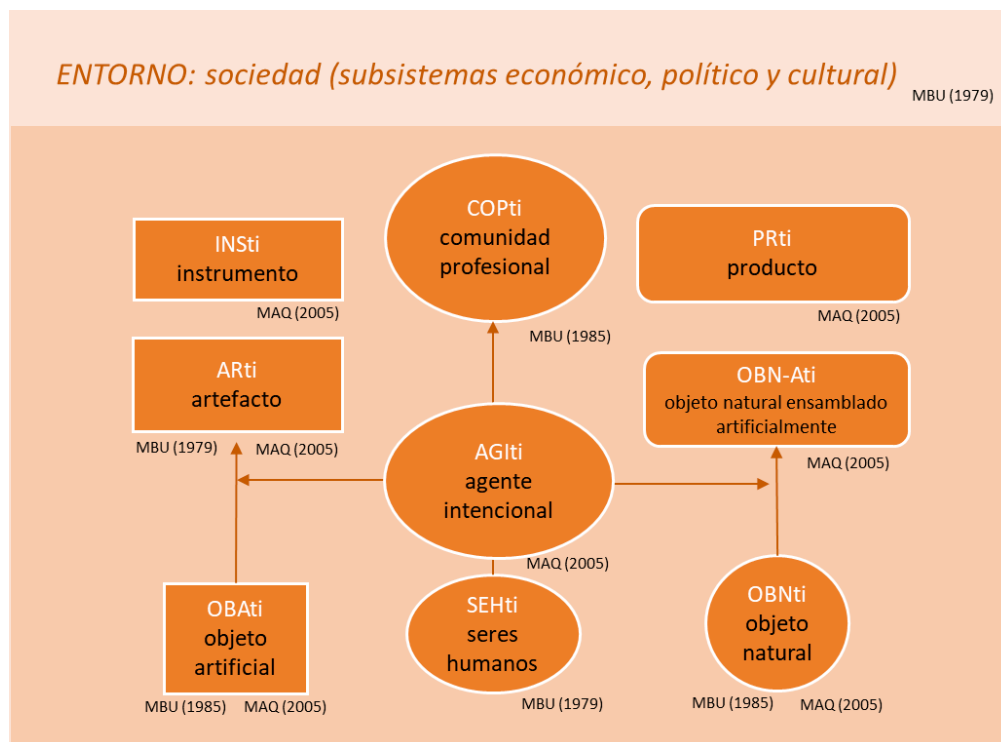


Fig. 4.2.1.e) Esquema base para un sistema de campo ontológico concreto de una tecnología ingenieril (ti)

Para la lectura de esta figura hay que hacer varias observaciones. En primer lugar, que la figura dispone de abajo hacia arriba los componentes según un orden creciente de complejidad, pasando desde el nivel micro (parte inferior) hasta el nivel macro (parte superior)²³⁹. En segundo lugar, sobre la forma de los componentes, que responde a los componentes humanos (forma elíptica), componentes naturales (forma redonda), o componentes artificiales (forma cuadrada), y componentes mixtos (forma rectangular con las esquinas redondeadas). En la figura se sitúa en la zona central los componentes humanos, a la

²³⁸ Utilizo las iniciales correspondientes, así MBU es Mario Bunge y MAQ es Miguel Ángel Quintanilla. Con las fechas completo la referencia de los textos que han sido citados precedentemente.

²³⁹ La posibilidad de que en un mismo sistema aparezcan componentes de diverso grado de complejidad, desde un nivel micro hasta un nivel macro, está contemplada en Bunge (2004), lo que resulta del análisis de Bunge en relación con los procesos de emergencia.

derecha los componentes naturales, y a la izquierda los componentes artificiales. Para aquellos componentes definidos previamente, se incluyen las iniciales del autor y año de su referencia bibliográfica. Se observa también que los componentes del sistema de campo ontológico son de color marrón anaranjado, y que se colorean con más intensidad que el campo en que se sitúan. También se colorea, aunque con un grado de intensidad menor, el entorno del sistema, que en este caso aparece en la parte superior del campo sistémico.

Conforme a lo anterior, los componentes, o conjuntos de componentes, que pueden considerarse para caracterizar el sistema de campo ontológico concreto de una tecnología ingenieril serían: (i) seres humanos y artefactos (Bunge, 1979); (ii) comunidad profesional, y entidades reales naturales y artificiales (Bunge, 1985); y (iii) agentes intencionales, componentes físicos (objetos naturales y objetos técnicos), artefactos, instrumentos, herramientas, máquinas y productos (*cfr.* Quintanilla, 2005).

Lo primero que puede hacerse frente a este conjunto de elementos es identificar dos grupos: aquél que se refiere a los seres humanos como agentes, y aquél que se refiere a entidades u objetos, tanto naturales como artificiales. Según se agrupen estos componentes, pueden mostrar una estratificación (desde un nivel micro o individual hasta un nivel macro). Así, los seres humanos, como sujetos de la ingeniería, cuando se convierten en operadores pasan también a ser agentes intencionales²⁴⁰, que a su vez estarían representados colectivamente por la comunidad profesional (COPTi) como parte también del sistema social. Aquí puede observarse cómo los componentes pertenecen a distintos niveles del sistema²⁴¹: los agentes (humanos) intencionales son de un tipo más sencillo (micro), mientras que la comunidad profesional sería de un tipo más complejo.

La comunidad profesional estaría integrada por agentes intencionales que, tal y como se están viendo, podrían formar parte del micronivel o nivel básico de componentes (especialmente humanos)²⁴² responsables de las acciones intencionales. De este modo, puede identificarse una serie de componentes (seres humanos > agentes intencionales > comunidad profesional) diferentes, pero que a la vez están interrelacionados, según un nivel creciente de complejidad. Esta serie, creciente en complejidad, se representa en la figura adjunta.

El resto de los componentes del sistema concreto ontológico estarían desprovistos de esa condición compartida de comunidad de agentes (seres humanos) intencionales. Este grupo definido por la exclusión de esa condición de componentes humanos, podría hacerse equivalente al dominio de una tecnología (Dt), que de acuerdo con Bunge (1985: 232-234) “está compuesto exclusivamente por entidades (certificadas o putativamente) reales, pasadas, presentes o futuras, algunas naturales y otras artificiales. (...) El dominio o universo del discurso Dt de cualquier tecnología contiene no solo cosas naturales sino también artefactos como puentes y planos, herramientas y máquinas para construirlos”.

²⁴⁰ Puede entenderse que, en su mayor parte, los agentes intencionales son humanos, aunque esto no sería por completo necesario (de ahí la supresión del término ‘humano’ que hace Quintanilla en su definición de tecnologías), puesto que puede hablarse ya de agentes intencionales no humanos. Abro el grupo de agentes intencionales no humanos para poder referirme, no solamente a otros sujetos inteligentes no humanos, sino también al componente material de sistemas expertos automatizados o, yendo algo más allá, lo que sería una ‘sede concreta’ de los sistemas de inteligencia artificial (IA). En todo caso, cuando continúe hablando de estas cuestiones lo haré restringiéndome a lo que puede decirse de las ingenierías, tal y como son desarrolladas por los humanos.

²⁴¹ Aquí, como en los siguientes sistemas, tengo en cuenta las observaciones de Bunge (1985, 2004) en el sentido de que en un mismo sistema los componentes podrían asignarse a distintos niveles, en lo que se conoce como modelo de sistema estratificado, de modo que habría componentes más elementales (en un nivel micro) y componentes más complejos (en un nivel macro). Esto facilita la definición de la estructura interna del sistema, como podrá observarse.

²⁴² En este punto considero que los agentes intencionales son generalmente seres humanos. Más adelante se incluirán las reflexiones que llevan a considerar la posibilidad, tanto de agentes humanos intencionales, cuanto la de agentes no humanos (artefactos) intencionales.

Aquí se nos presenta un problema ciertamente complejo, como es la separación nítida entre ‘entidades naturales’ y ‘entidades artificiales’. Esta separación aparece clara en los dos extremos correspondientes, como podrían ser un tiburón y un cronómetro, pero la separación se hace cada vez menos clara en las zonas intermedias, como podría ser el caso de un camarón cultivado. Esta cuestión se hace aún más complicada según cual sea el tipo de tecnología que estemos considerando, llegando a casos como el que señala Quintanilla (2005: 84) “en la biotecnología actual hay casos límite de modificación y producción de sistemas que parecen desafiar cualquier clasificación”.

Esta afirmación nos ayuda a desplazar la caracterización de las entidades no tanto al resultado final (en donde puede ser más complicado establecer un límite entre lo ‘natural’ y lo ‘artificial’), sino al cambio de estado que puede dar lugar al proceso de formación de un objeto²⁴³ mediante ensamblaje o acoplamiento de componentes básicos (*cfr.* Quintanilla, 2005: 82). De este modo, como expone Quintanilla (2005: 82):

El ensamblaje de un objeto natural se produce de forma natural a través de procesos físicos, químicos y evolutivos. Pero un objeto o sistema equivalente a un objeto natural (y perteneciente por tanto a la misma clase natural) puede también ensamblarse artificialmente. Diremos en este caso que el objeto es un *objeto natural producido artificialmente*. Por último, si el objeto no sólo es ensamblado artificialmente, sino que además no pertenece a ninguna clase natural de objetos, decimos entonces que es un *artefacto* en sentido estricto.

Este planteamiento es de una utilidad notable para el objetivo que perseguimos de identificar los componentes característicos del sistema del campo ontológico concreto²⁴⁴. Así, permite establecer los componentes en tanto resultado de un cambio de estado (mediante un sistema de acciones intencionalmente orientado) como proceso, al combinar las posibilidades de objetos de dos clases (naturales²⁴⁵ o artificiales) con ensamblajes o producciones de dos clases (naturales o artificiales). Esta combinación permite establecer entonces tres tipos de componentes: (i) objetos naturales (se producen por ensamblaje natural, a partir de objetos naturales); (ii) objetos naturales producidos artificialmente (se producen por ensamblaje artificial, a partir de objetos naturales); y (iii) artefactos (se producen por ensamblaje artificial, a partir de objetos artificiales).²⁴⁶

Como para el caso de los componentes humanos, también para los componentes materiales no humanos puede establecerse una serie de complejidad creciente, desde los objetos simples hasta objetos más complejos (de abajo a arriba en la figura adjunta), creando

²⁴³ Se utiliza el término objeto, de acuerdo con DRAE como “todo lo que puede ser materia de conocimiento o sensibilidad de parte del sujeto, incluso este mismo”.

²⁴⁴ Como se verá más adelante, este planteamiento también supone la posibilidad de diferenciar entre los procesos o sistemas de acciones de naturaleza tecnológica de producción, aquellos que llevan al resultado de obtener objetos naturales producidos artificialmente (ej. en la ingeniería agronómica), que se diferenciarán de los procesos de ensamblado artificial a partir de componentes artificiales (ej. en la ingeniería mecánica).

²⁴⁵ Queda planteado en todo caso para el modelo de ingeniería la posibilidad de subdividir objetos o entidades naturales en bióticas y abióticas, a las que se aplicaría el ensamblaje artificial, pensando en los resultados. Aquí quiero apuntar que, para Marcos (2010), resulta de gran importancia establecer lo antes posible la división de las entidades naturales entre bióticas o vivas y abióticas.

²⁴⁶ Lo que se está comentando sobre combinación de clases de objetos (naturales o artificiales) y ensamblaje (natural o artificial) podría llevarnos a reflexionar sobre la posibilidad de que esa clasificación se hiciera no tanto en términos binarios, sino que se admita unas diferencias de grado (desde más natural hasta más artificial).

una cierta estratificación, desde los niveles más sencillos (objetos naturales o artificiales simples), pasando por objetos como artefactos²⁴⁷, instrumentos o productos.

4.2.2 Los sistemas semióticos como sistemas puente: concreto-abstracto

El sistema de campo ontológico concreto pretende ser una primera aproximación, desde un enfoque sistémico, al mundo material de la tecnología ingenieril. Por ese motivo, considero que ese sistema concreto también debe incluir como componentes a elementos (sistemas) de naturaleza semiótica (*cfr.* Bunge, 2004: 86), como son los diferentes lenguajes (natural, lógico-matemático, técnicos...) y los sistemas gráficos de la tecnología ingenieril. Estos sistemas semióticos son producto de la actividad humana, artefactos (*cfr.* Bunge, 2004: 54), que sirven como canal de relación informativa esencial para la actividad ingenieril, tanto para la comunicación entre los miembros de las comunidades profesionales ingenieriles, como para que éstos –junto con otras comunidades como la científica– operen con constructos abstractos que forman parte de los sistemas conceptuales.

Cuando Bunge (2002, 2004) clasifica los sistemas según tipos, señala los sistemas concretos o materiales, que diferencia de los abstractos o conceptuales. Pero además, incluye otro tipo de sistema, los sistemas semióticos, cuya característica especial es precisamente que pone de manifiesto la dualidad concreto-abstracto que caracteriza a cualquier sistema semiótico. Esta particularidad es la que va a permitir establecer una suerte de puente ontológico entre el sistema de campo ontológico concreto, por una parte, y los sistemas de campo conceptuales (epistemológico, metodológico y ético-axiológico). Esta condición de puente (concreto-abstracto) de los sistemas semióticos es la que permite llegar a reunir, como un sistema complejo o supersistema, la totalidad del mundo de la tecnología ingenieril.

En los análisis previos se observó que la semántica es una de las áreas más importantes de las investigaciones en filosofía de la ciencia y de la tecnología. Sin embargo, la semántica, como tal, no quedó incorporada en el modelo del sistema de campos de la tecnología. Esto puede explicarse mejor en este momento, cuando ya se han incorporado los sistemas semióticos al modelo; de modo que la semántica sigue sin tratarse como sistema en este desarrollo²⁴⁸, pero si se considerarán sus aportaciones a lo largo de los análisis de los sistemas semióticos, en sí mismos y en relación con los sistemas conceptuales conexos.

Hecha esta importante observación, para hacer una aproximación a los sistemas semióticos desde el enfoque de este modelo voy a basarme en las aportaciones de Mosterín (1993), así como en las de Bunge (2004) y las de Quintanilla (2005, 2012, 2017).

En *Filosofía de la cultura* (1993) Jesús Mosterín aborda la cultura como información, y trata dos cuestiones que me son relevantes para avanzar la consideración de los sistemas semióticos. La primera en relación con la naturaleza de la información²⁴⁹, y la segunda en

²⁴⁷ Considero que en este modelo de una tecnología son suficientes las reflexiones sobre artefactos presentadas por Quintanilla (2005). Aunque puede recordarse que la posición de los artefactos en relación con otros objetos como ‘instrumentos’ o ‘herramientas’ está siendo discutida. Así, Dipert (1993) presenta los artefactos como un tipo de herramientas, a su vez como tipo de instrumentos; o Hilpinen (2004) donde ‘artefacto’ sería equivalente al tipo ‘herramienta’ de Dipert. Véase: Verbeek & Vermaas (2009) “Technological artifacts” pp. 165-171, en: *A Companion to the Philosophy of Technology*, Olsen *et al.* (eds); o Baker (2004) “The Ontology of Artifacts,” *Philosophical Explorations*, 7: 99–111.

²⁴⁸ En este modelo no se trata a la semántica como un sistema de campo del sistema complejo de la tecnología, puesto que por su nivel esta condición ya se le atribuye a los sistemas semióticos. Esto no le resta interés a los sistemas semánticos, pero su aplicación en semiótica general (*cfr.* Eco, 1991: 121) tiene alcance que va más allá de lo previsto en el presente trabajo.

²⁴⁹ Hay propuestas más actualizadas y detalladas en relación con el fenómeno de la información que “se ha convertido, en gran medida, en el genuino fenómeno estructurador y transformador de nuestra sociedad” (Pérez, 2000: 19), como serían las de Pérez Gutiérrez en *El fenómeno de la información. Una aproximación conceptual al flujo informativo*, pero en este nivel de desarrollo del modelo me limito a la presentación de Mosterín, especialmente porque Quintanilla (2017) las retoma en sus consideraciones sobre información, como se verá más adelante.

cuanto a la clasificación general de los tipos de información. Respecto a la primera de estas cuestiones, Mosterín (1993: 21) pone de manifiesto que: “las señales son eventos, procesos, configuraciones u objetos materiales que, en virtud de su forma, son portadores de información. La información misma es algo inmaterial, portado por la forma de las señales que la transmiten. No hay información sin soporte material.” En ello destaca una dualidad material-conceptual, lo que va a ser determinante para la dimensión informacional de la tecnología ingenieril desde un enfoque sistémico.

Junto a esta afirmación, también considero interesante presentar las tradicionales distinciones que hace Mosterín cuando señala que “se habla de información en tres sentidos distintos: información como forma o estructura (información sintáctica o estructural), información como correlación (información semántica) e información como capacidad de cambiar el estado del receptor (información pragmática).”²⁵⁰ Los tres sentidos en que se habla de la información permiten encajar mejor algunos aspectos a la hora de tratar tanto los sistemas semióticos como los sistemas conceptuales de una tecnología. Así, la primera, la información sintáctica o estructural, posibilita identificar la relación (de naturaleza inmaterial, informativa) que se da entre componentes de un sistema conceptual, como puede ser el caso de diferentes tipos de valores para el sistema ético-axiológico²⁵¹. Por su parte, el tipo de información semántica será relevante, por ejemplo, para el estudio de correlaciones (internas y externas) en lenguajes. Siendo también el tipo en que encajan una parte de las reflexiones filosóficas del campo semántico.

Finalmente, el tipo de información pragmática, como “capacidad de cambiar el estado del receptor” es el tipo de información clave entre agentes, y por tanto en la dinámica de los sistemas de acciones intencionales, como se verá con detalle en el análisis de los sistemas funcionales praxiológicos de la tecnología. A su vez, Mosterín (1993: 25), distingue tres tipos (subtipos) de información pragmática, dado que “una forma puede tener diversos tipos de efectos sobre el receptor al que informa: según cuál de ellos tenga, portará un distinto tipo de información (pragmática) para ese receptor, tendrá un contenido diferente.”

Entonces, los tipos básicos de información pragmática serán: “(1) la información *descriptiva* (o teórica, los datos, el saber qué). (2) la información *práctica* (o técnica, las instrucciones, las habilidades, el *know-how*). (3) la información *valorativa* (o evaluativa, las preferencias, los valores, las metas, las actitudes, las filias, las fobias).”²⁵²

Esta división de la información pragmática, que se puede realizar mediante un mismo o distintos lenguajes, refuerza la consistencia del modelo sistemista de tecnologías que estoy planteando por cuanto los tres tipos de información pragmática (descriptiva, práctica y valorativa) coinciden con la función esencial de cada uno de los tres diferentes sistemas conceptuales (epistemológico, metodológico y ético-axiológico) que estoy considerando.

Paso ahora a Bunge (2004: 77) donde afirma que “un sistema semiótico (o simbólico) es un sistema que está compuesto por signos, tales como expresiones, gestos, palabras y gráficos, que significan algo para alguien en virtud de ciertas convenciones.” Bien es claro que, aunque los lenguajes son una especie de sistemas semióticos, hay otros casos de sistemas semióticos. Esto tiene una especial importancia en la filosofía de la tecnología, y en la filosofía de otras grandes actividades humanas como el arte y la ciencia, puesto que además de los lenguajes hablados pueden encontrarse otros sistemas semióticos como “son las

²⁵⁰ Mosterín (1993): *Op. cit.*, p. 21.

²⁵¹ Como señala Mosterín (1993: 22): “La información sintáctica es forma, estructura.” (...) “La información sintáctica es relativa a un alfabeto, marco o código, pero no es relativa a un objeto o a un receptor.”

²⁵² Mosterín (1993): *Op. cit.*, p. 25.

partituras musicales, los planos, los gráficos y los diagramas tecnológicos”²⁵³. Este es el motivo más importante por el que en este modelo no he configurado un sistema de campo semántico, sino un conjunto de sistemas semióticos.

Así, cuando hablo de sistemas semióticos en el sistema complejo de la tecnología ingenieril, me refiero a un amplio conjunto de lenguajes²⁵⁴ (cada uno de ellos como sistema semiótico) que mantienen una serie de relaciones entre sí y con su entorno, definiendo una estructura determinada. Como cuando Bunge (2004: 88) afirma que “la exoestructura [relaciones entre componentes (C) y entorno (E) de un sistema] de un lenguaje es su contorno, o sea el puente entre el lenguaje y el mundo.”

Ahora puedo encadenar la noción de información pragmática (*cfr.* Mosterín, 1993) como una posibilidad del lenguaje humano, y éste como una creación cultural, comprensible como un sistema semiótico (*cfr.* Bunge, 2004), que a su vez articule sistemas concretos y sistemas conceptuales. Ya se ha visto cómo el modelo sistémico CES de Bunge requiere que, para caracterizar un sistema determinado, se identifiquen sus componentes (C), entorno (E) y estructura (S). No obstante, no pretendo en este momento elucidar los sistemas semióticos de una tecnología ingenieril, puesto que en este nivel me limito a identificar someramente los distintos lenguajes y sistemas gráficos (como sistemas semióticos) que forman parte del sistema complejo de la tecnología. Pero sí pretendo, en la medida de lo posible²⁵⁵, vincular los planteamientos que he recogido de Mosterín (1993) sobre la información, con el enfoque de Bunge (2004: 82-88) sobre sistemas semióticos y específicamente sobre los lenguajes como sistemas semióticos. Puede entenderse que lo que sigue no serían tanto las propuestas más estándar del ámbito de la semiótica, sino específicamente lo que sería un ‘enfoque bungeano’.

Para Bunge (2004: 82-83) “la unidad básica de un sistema semiótico es, por supuesto, el signo artificial.” (...) “Un signo artificial, o símbolo, puede ser caracterizado como un signo creado o utilizado para designar un concepto como el de lenguaje o para denotar un elemento extraconceptual, tal como una cosa material individual u otro signo. Podemos llamarlos signos designativos y denotativos, respectivamente.” En la figura adjunta (Bunge, 2004: 84) se muestra cómo “un signo o bien designa un constructo o bien denota un elemento concreto. Solo en el primer caso el signo tiene significado, o sea posee tanto sentido como referencia.”

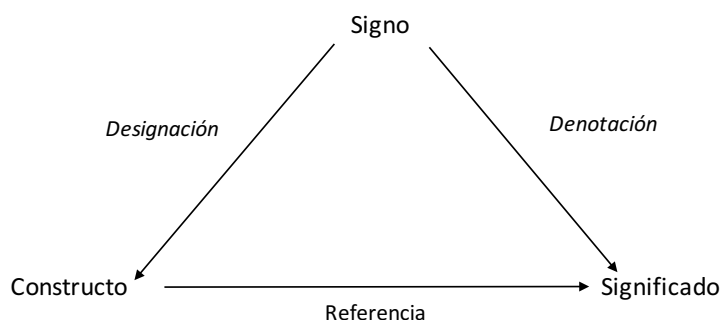


Fig. 4.2.2.b) Signo: designación o denotación (tomado de Bunge, 2004: 84)

²⁵³ Bunge (2004): *Emergencia y convergencia*, p. 77.

²⁵⁴ Para Bunge (2004: 86): “Un lenguaje, sea natural (histórico), artificial (designado) o mixto, está hecho de signos artificiales (o convencionales) junto con reglas para combinarlos y asignarles significado.”

²⁵⁵ Me limitaré, por su potencial interés, a poner juntas las nociones de señal y forma de Mosterín (1993: 21): “las señales son eventos, procesos, configuraciones u objetos materiales que, en virtud de su forma, son portadores de información” con la de ‘signo artificial, o símbolo’ de Bunge (2004: 83) como un “signo creado para designar un concepto (...) o para denotar un elemento extraconceptual.”

Otra consideración respecto de los signos de Bunge (2004: 84) es que “los signos artificiales (símbolos) solo pueden ser leídos con auxilio de convenciones semióticas (explícitas o tácitas)”. Para ello, más allá del ejemplo de las palabras (de un lenguaje natural), se estaría ante el caso de elementos por completo característicos del ‘mundo tecnológico ingenieril’ como mapas (ej. “mancha azul en un mapa → extensión de agua”), gráficos, diagramas de organización y de flujo, o incluso planos de arquitectura, por citar algunos de los ejemplos que propone el autor. Siguiendo con Bunge (2004: 84) “en tanto que los signos no simbólicos son artefactos puramente materiales, los símbolos son artefactos materiales unidos a reglas de designación (explícitas o tácitas). Esto muestra que los sistemas semióticos, lejos de ser entidades existentes por ellas mismas, resisten o caen con las personas que los utilizan.”

Para concluir con esta serie de referencias, dejo abierta una base metodológica bungeana para la posterior elucidación sistemista de un lenguaje dado, en tanto sistema semiótico. Así Bunge (2004: 87) “todo lenguaje *L*, sea natural o diseñado, es un sistema semiótico con:

composición de *L* = una colección de signos artificiales (símbolos);
entorno de *L* = la colección de elementos naturales y sociales (en particular culturales) a los que se refieren las expresiones de *L*;
estructura de *L* = las relaciones sintácticas, semánticas, fonéticas y pragmáticas de *L*.”

Por último, volviendo de nuevo a los tipos de información, quiero apuntar la posición de Quintanilla (2012; 2017) recogiendo las reflexiones de Mosterín (1993) en que se diferencian tres tipos de información (descriptiva, práctica y valorativa). De acuerdo a esto, Quintanilla (2017) señala que:

La información **representacional** se refiere a estados de cosas y se transmite generalmente en forma de enunciados declarativos (u otras formas equivalentes), que describen el estado de una parte más o menos amplia del mundo, con mayor o menor nivel de precisión, de forma descriptiva o explicativa, etc. (...) La información **operacional** se refiere a acciones, es decir a cambios de estado producidos en las cosas como consecuencia de la intervención intencional, y se expresa mediante reglas o normas de actuación que describen qué se puede o se debe hacer en determinadas circunstancias para conseguir cierto estado de cosas. (...). Por último, está la información **valorativa**, que se expresa a través de enunciados de valor, es decir que asignan determinado valor o nivel de preferencia a determinados estados de cosas y operaciones.²⁵⁶

Esto permite reafirmar la correlación entre tipos de información y las funciones esenciales de los sistemas de campo conceptuales que se están tratando: información representacional en el sistema de campo epistemológico; información operacional en el sistema de campo metodológico; e información valorativa en el sistema de campo ético-axiológico.

Así, los sistemas semióticos, y específicamente los lenguajes, en tanto portadores de información pragmática (descriptiva/representacional, práctica/operacional y valorativa), tienen una naturaleza dual (material-conceptual). El signo pone de manifiesto la dimensión material, concreta, de la información, que se encuentra tanto en las mentes de los agentes humanos, como en diferentes soportes materiales de almacenamiento (analógico o digital) de

²⁵⁶ Quintanilla, M.A. (2017): “¿Qué es y cómo se mide la cultura científica?”, (inédito).

la información. Al tiempo, los signos designan conceptos o entidades constituidas abstractas, que son las portadoras de la información, de naturaleza conceptual. De ahí que haya planteado en el modelo de elucidación tres sistemas conceptuales, en cierta medida correspondientes a los tres tipos de información pragmática: un sistema de campo epistemológico, un sistema de campo metodológico, y un sistema de campo ético-axiológico. Tres sistemas de campo conceptuales, que, gracias a los sistemas semióticos, pueden conectarse con el mundo concreto de la tecnología ingenieril, tanto el sistema concreto del campo ontológico (desde una visión estructural), como el sistema funcional praxiológico (desde una visión dinámica), que da cuenta de las acciones materiales de transformación en ese mundo concreto.

En definitiva, considero el papel de diferentes lenguajes y sistemas gráficos que pueden aparecer en la esfera amplia de la actividad tecnológica ingenieril (natural, lógico-matemático, técnico-natural, técnico-simbólico, técnico-representacional, informático)²⁵⁷ como sistemas semióticos del sistema complejo ingenieril, con una función puente entre lo material y lo conceptual, razón por la que los incluiré como componentes imprescindibles de todos y cada uno de los sistemas conceptuales (epistemológico, metodológico y ético-axiológico).

4.2.3 Sistema conceptual del campo epistemológico de tecnologías ingenieriles

En este punto el diseño elucidatorio se centra en las cuestiones epistemológicas de la ingeniería. Al tratar estas cuestiones tecnológicas es inevitable que se desborden los límites – más o menos definidos– de las disciplinas filosóficas. Así, junto con elementos más propios de una epistemología en sentido estricto, aparecen cuestiones de tipo metodológico (como el diseño), o aspectos de tipo praxiológico en tanto consideraciones sobre la acción.²⁵⁸

En todo caso, se ha destacado la importancia que están adquiriendo en la filosofía contemporánea de la tecnología las cuestiones epistemológicas, como se pone de manifiesto en Quintanilla (*cfr.* 2005: 173). De modo que el espacio de reflexiones epistemológicas aparece por derecho propio como uno de los campos más importantes a la hora de elaborar un modelo sistemista integrado de tecnologías ingenieriles.

Aquí hay que profundizar en la naturaleza de los componentes del sistema. El campo epistemológico es un campo compuesto por conceptos (en el sentido de entidades intersubjetivas –no en el de entidades subjetivas–; así pues, por entidades abstractas que podemos considerar constituidas por los usuarios de una lengua). Pero es claro, como recuerda C.S. Peirce, que “la palabra vive en la mente de quienes la usan”²⁵⁹, de un modo que

²⁵⁷ Esta nómina de lenguajes es el resultado de una primera aproximación, y por tanto pendiente de un estudio más detallado que se realizará en el capítulo siguiente. Uno de los problemas a considerar es que la distinción entre lenguaje natural (histórico), artificial (designado) o mixto, como sugiere Bunge (2004: 86), no se base en una dicotomía entre ‘natural’ y ‘artificial’, como sí ocurre entre ‘matemático’ y ‘no matemático’. Otro problema importante se encuentra, como se dijo antes, en que si bien la investigación filosófica ha desarrollado un corpus muy importante en semántica no se dispone apenas –en lo que he podido conocer– de materiales en filosofía de la ciencia y de la tecnología que traten el lenguaje como un sistema semiótico, al menos en el sentido que aquí estoy considerando.

²⁵⁸ Para el caso de la actividad científica se ha destacado la proximidad y sinergias entre la epistemología y la metodología, como puede verse en Cazau (2011) “Evolución de las relaciones entre la epistemología y la metodología de investigación”, en un escenario que, entre otras opciones, sustentaría un tratamiento conjunto de ambas. Este escenario es más claro en el caso de la tecnología, en donde puede observarse aún una mayor proximidad entre la epistemología tecnológica y la metodología tecnológica.

²⁵⁹ Peirce, C.S. (1893): “El icono, el índice y el símbolo”, C.P. 2.301 (traducción castellana de Sara Barrera, 2005) “Puedes escribir la palabra ‘estrella’, pero eso no te convierte en creador de la palabra, ni tampoco si la borras has destruido la palabra. La palabra vive en las mentes de aquellos que la usan. Incluso si están todos dormidos, existe en su memoria. De modo que podemos admitir, si existe razón para hacerlo, que los generales son meras palabras, sin decir en absoluto, como Ockham suponía, que son realmente individuos.”

todo posible componente conceptual del sistema epistemológico, remite –mediante los sistemas puente semióticos– a la realidad material de los agentes de la comunidad profesional ingenieril. Por este motivo, he optado por añadir como componentes del sistema conceptual epistemológico (así como en el metodológico y ético-axiológico) a los sistemas semióticos (lenguajes y sistemas gráficos) que emplean los miembros de las comunidades profesionales ingenieriles.

Partiendo de la once-tupla de elementos de una tecnología de Bunge (1985: 232), se encuentran tres elementos básicos para un sistema de campo epistemológico: (i) el trasfondo formal (Ft) de conocimiento, que es un conjunto de teorías lógicas y matemáticas actualizadas; (ii) el trasfondo específico (Bt) de conocimiento, que es “una colección de datos, hipótesis y teorías actualizadas y razonablemente bien confirmadas (aunque corregibles), de métodos de investigación efectivos y razonables, y de diseños y planes útiles, encontrados en otros campos del conocimiento, particularmente en ciencias o tecnologías relacionadas”; y (iii) el fondo de conocimiento (Kt) de una tecnología, que es “una colección de teorías, hipótesis y datos actualizados y comprobables (no definitivos), así como de métodos, diseños y planes compatibles con el fondo específico B y obtenidos por los miembros de C [comunidad profesional] en tiempos anteriores” (*cfr.* Bunge, 1985: 232). Estos tres grupos de componentes se muestran en la figura.

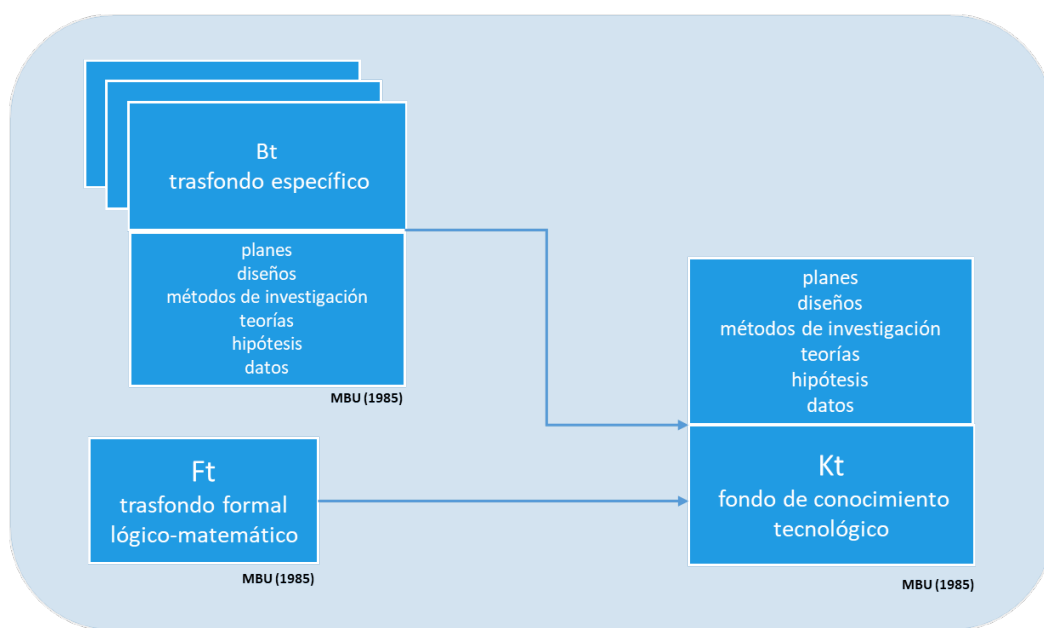


Fig. 4.2.3.a) Elementos de tipo epistémico presentes en una tecnología (*cfr.* Bunge, 1985)

Siguiendo a Quintanilla (2005: 173), en su identificación de las tres partes de la filosofía de la técnica, expone que “entre las *cuestiones epistemológicas* las más importantes son las relativas al análisis del conocimiento técnico y de los procesos de invención tecnológica. Temas de interés en este campo son, entre otros, los siguientes: teoría del conocimiento técnico, el concepto de habilidad y *know how*, los conceptos de invención, innovación, modelo, prueba, diseño, desarrollo tecnológico, teoría tecnológica. Nociones básicas para la epistemología de la técnica son la mayoría de las nociones de la filosofía de la ciencia como ciencia básica, ciencia aplicada, investigación y desarrollo, además de otras relacionadas como las de conocimiento operacional o práctico y conocimiento aplicado.”

Como señala este autor: “En relación con el conocimiento técnico, hay mucho trabajo que hacer. Es además un campo en el que seguramente se producirán avances importantes en los próximos años si los filósofos interesados empiezan a ocuparse explícitamente del conocimiento técnico, de su estructura, su metodología, su desarrollo, y no se limitan solamente a compararlo con el conocimiento científico” (Quintanilla, 2005: 181). El autor señala como contribuciones interesantes para el desarrollo de una epistemología de la técnica en la dirección sugerida los trabajos de: Vega (1996) en su tesis doctoral²⁶⁰, de Liz (1995) sobre racionalidad y conocimiento tecnológico²⁶¹ y el de Vázquez (1995) sobre modelos en tecnología²⁶².

En la obra referencial de Quintanilla (2005), también pueden resaltarse las contribuciones en epistemología de la técnica, tanto en el capítulo “La tecnología como paradigma de la acción racional”, como especialmente el capítulo “Tipos de conocimiento tecnológico y gestión de la innovación”. En este caso, de entre el conjunto de temas y cuestiones sugeridas por Quintanilla, pueden seleccionarse aquellos que, potencialmente, podrían formar parte de los componentes del sistema de campo epistemológico²⁶³, señaladamente los de análisis del conocimiento técnico (tecnológico), diseño, teoría tecnológica, conocimiento operacional y conocimiento tecnológico.

Tanto las cuestiones sugeridas por Quintanilla, como los elementos identificados por Bunge, permiten establecer, dentro del campo epistemológico, un potencial conjunto de componentes abstractos, con un entorno determinado y unas relaciones entre los mismos, tales que permiten considerarlos (aplicando los criterios ya mencionados de Bunge) como sistema. Un sistema del que pueden ser más precisamente elucidados sus componentes, entorno y relaciones, de acuerdo con el modelo CES de Bunge. De este modo se propone la transformación desde un ‘campo epistemológico’, entendido en el sentido amplio (*cfr.* Quintanilla, 2005) a un sistema abstracto bajo el modelo sistémico CES bungeano que ya denomino ‘sistema de campo epistemológico’.

Para seguir elucidando los componentes elementales del sistema de campo epistemológico de una tecnología ingenieril conviene tener en cuenta los diferentes tipos de conocimiento técnico que se han identificado. En particular, la propuesta que presenta Quintanilla (2005) con el objeto de superar los problemas de relación entre los pares de conocimiento representacional/operacional y explícito/implícito. Dos pares que corresponden a dos criterios de distinción de tipos de conocimiento. Así, mientras que la diferencia entre conocimiento representacional (o *know that*) y operacional (o *know how*) es por el contenido del conocimiento; la diferencia entre conocimiento explícito e implícito (o tácito) es por la forma del conocimiento. El autor señala que, aunque se tiende a confundir los dos criterios de distinción mencionados, en realidad se trata de criterios de clasificación independientes, que configuran un determinado cuadro de posibilidades.

²⁶⁰ Vega, J. (1996): “Epistemología de las técnicas: El problema del saber práctico y del conocimiento técnico”, Tesis doctoral, Universidad de Salamanca.

²⁶¹ Liz, M. (1995): “Conocer y actuar a través de la tecnología”, pp. 23-52, en: Broncano (comp.) (1995) *Nuevas meditaciones sobre la técnica*, Madrid: Trotta.

²⁶² Vázquez, M. (1995): “En torno a los conceptos de modelo, sistema y simulación”, pp. 81-100, en: Broncano (comp.) (1995) *Nuevas meditaciones sobre la técnica*, Madrid: Trotta.

²⁶³ Una parte de los temas de interés y nociones básicas que aparecen en este apartado de epistemología en Quintanilla (2005) van a ser considerados bien en el sistema metodológico o en el sistema praxiológico.

Tabla 4.2.3.a) Tipos de conocimiento (Quintanilla, 2005: 241)

	<i>Representacional</i>	<i>Operacional</i>
<i>Explícito</i>	<i>Know that</i>	<i>Know how</i>
<i>Tácito</i>	Intuición	Habilidad

En esta propuesta se presenta un diagrama en donde esos tipos extremos de conocimiento definen un campo para los tipos de conocimiento, entre los que se encuentran también el científico y el artístico. La propuesta presenta un campo amplio para el conocimiento técnico, por una parte, el técnico primario, y por otra parte el técnico secundario, de modo que resultarían dos tipos de conocimientos tecnológicos, que son precisamente caracterizados por el autor.

El conocimiento técnico primario es, de acuerdo con Quintanilla (2005: 242), aquél “que poseen los operadores o usuarios de un sistema técnico, y que es necesario para que se pueda utilizar ese sistema en forma adecuada y eficiente. Este conocimiento técnico primario está formado en gran parte por habilidades, es decir, tiene un carácter operacional y tácito, pero no exclusivamente.” Como señala el autor y se puede deducir de la gráfica, también el conocimiento primario es explícito, como “el que se recoge y se formula en los manuales de operación y mantenimiento de los sistemas técnicos, que especifican las reglas de funcionamiento, las operaciones que se pueden realizar, en qué orden, etc. Por otra parte, cualquier conocimiento práctico u operacional, tácito o explícito, tiene componentes representacionales incluíbles (identificación del sistema, sus partes, propiedades, etcétera).”

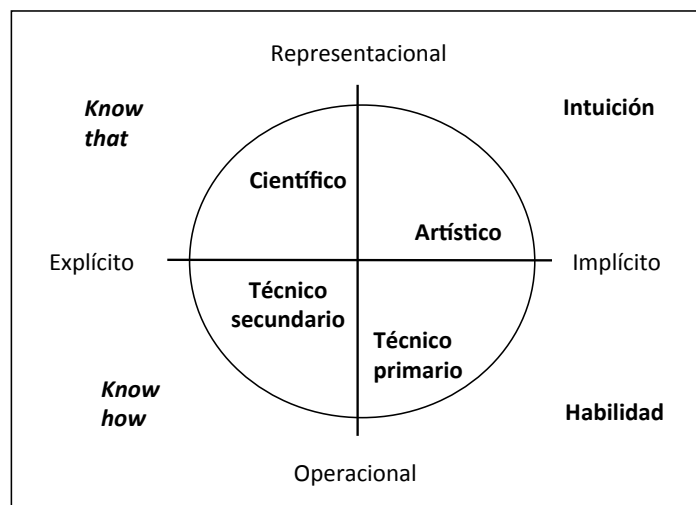


Fig. 4.2.3.b) Tipos de conocimiento (Quintanilla, 2005: 242)

Siguiendo con Quintanilla (2005: 242-243), el conocimiento técnico secundario es “el conocimiento que un tecnólogo tiene de las propiedades y reglas de operación de un sistema técnico. Incluye conocimientos tanto representacionales como operacionales, en su mayoría explícitos y formalizados (en las teorías tecnológicas, en los planos y diseños de los sistemas técnicos, etc.) que se refieren a la estructura, funcionamiento y producción de sistemas técnicos. En relación con el conocimiento técnico primario, el conocimiento técnico secundario se puede entender como una forma de *metaconocimiento*: incluye normas, reglas y criterios acerca del tipo de conocimientos técnicos primarios que los usuarios, operadores o constructores de un sistema técnico deben tener, pero no se identifica con ellos.”

La identificación de tipos de conocimiento técnico (primario y secundario) que realiza Quintanilla es de gran interés puesto que resuelve los problemas de atribución múltiple de tipos de conocimiento (según el contenido y según la forma de conocimiento), que no se corresponden plenamente con la práctica tecnológica. Por este motivo, creo que resulta de gran interés subdividir el componente fondo de conocimiento tecnológico (Kt) en: fondo de conocimiento tecnológico primario (Kt₁), y fondo de conocimiento tecnológico secundario (Kt₂)²⁶⁴. Es posible que más adelante pueda valorarse la conveniencia o no de subdividir con este tipo de criterio otros componentes como Bt (trasfondo de conocimiento específico) o Mt (trasfondo de conocimiento formal), e incluso de establecer una subdivisión del sistema epistemológico tecnológico ingenieril en primario y secundario; pero por ahora es suficiente con realizar esta subdivisión, que afecta al núcleo del conocimiento tecnológico ingenieril.

4.2.3.1 Componentes del sistema de campo epistemológico de tecnología ingenieril

De entre todo el conjunto de componentes del sistema epistemológico de la ingeniería, puede destacarse el fondo de conocimiento ingenieril secundario (Kt₂), que a su vez incluye como componentes –en un orden creciente de complejidad– a los conjuntos de: datos, hipótesis, teorías, métodos de investigación²⁶⁵, diseños y planes. Además de este fondo de conocimiento, se incluye como conjunto de componentes a los del fondo de conocimiento ingenieril primario (Kt₁), entre los que se destacarían: datos, instrucciones y reglas.

Siguiendo con este proceso de clarificación, se observa que el trasfondo específico de conocimiento (*cfr.* Bunge, 1985), que está formado por elementos apropiados (datos, hipótesis, teorías, métodos...) procedentes de otros campos (científicos y tecnológicos) que sirven de apoyo a la tecnología ingenieril en cuestión, podría subdividirse de manera sencilla en dos tipos de trasfondos específicos: el de conocimiento de naturaleza científica (BC_{nt}), y el de conocimiento de tipo tecnológico (BT_{nt}); pudiendo numerarse desde el número 1 hasta el n en función de las diferentes ciencias relacionadas, y también de las diferentes tecnologías relacionadas²⁶⁶. En ambos casos, el trasfondo científico o tecnológico de la tecnología considerada agrupa una serie de elementos componentes: datos, hipótesis, teorías (científicas o tecnológicas, en su caso), métodos de investigación, diseño y planes²⁶⁷.

²⁶⁴ En este punto podría debatirse sobre si el fondo de conocimiento técnico primario es o no tecnológico (ya que es al menos parcialmente fundado en ciencias), mientras que el conocimiento técnico secundario es claramente tecnológico. Esto podría llevar a aceptar que en un sistema tecnológico pudieran coexistir (necesariamente) conocimientos de naturaleza técnica (no tecnológicos) con conocimientos tecnológicos. Esta cuestión no sólo tiene implicaciones en el campo epistemológico, como va a verse, sino que puede tener interesantes implicaciones en los sistemas praxiológicos, específicamente en la función académico-docente, mediante la que se forma a nuevos miembros de la comunidad profesional ingenieril.

²⁶⁵ Aunque los métodos de investigación se mencionan ahora en este campo epistemológico, se tratan de forma más detallada en el campo metodológico. Esto no hace sino poner de manifiesto que estos dos campos del conocimiento (en el sentido más amplio) tienen límites borrosos. Por estos motivos, en la representación del sistema de campo los métodos de investigación tienen un color diferente.

²⁶⁶ De ahí que en la representación gráfica se simule una ‘acumulación de carpetas’, lo que remite a un número de ciencias o técnicas, según el caso, que forman parte del trasfondo específico de la ingeniería. Por ejemplo, el trasfondo de conocimiento científico de la ingeniería incluirá, al menos, la física y la química.

²⁶⁷ Aquí se han incluido los elementos componentes que se derivarían de Bunge (1985), no obstante, a partir de los métodos de investigación (que por este motivo se muestran con un color diferente), e incluyendo los diseños y los planes, estaríamos ante componentes que –según vaya avanzando la elucidación– van a terminar por formar parte del sistema metodológico ingenieril.

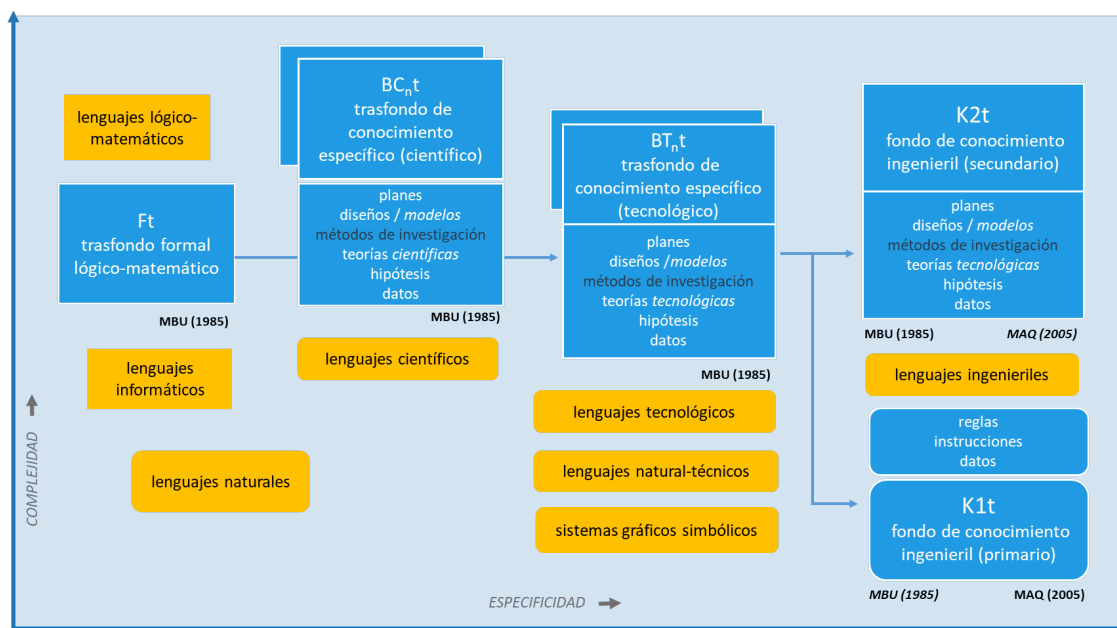


Fig. 4.2.3.c) Componentes del sistema conceptual del campo epistemológico de una tecnología ingenieril

Continuando con el desglose a partir de los elementos sugeridos en Bunge (1985), aparecería también el trasfondo formal lógico-matemático (Ft). Además de todos los conjuntos de componentes citados, representados en color azul, se han incluido también –siguiendo los presupuestos metodológicos que ya he explicado– diferentes lenguajes y sistemas gráficos, como sistemas semióticos, que hacen esa función de puente que se ha señalado entre la dimensión conceptual de estos componentes y la dimensión material, tanto de los componentes como de los soportes de estas informaciones.

4.2.3.2 Sobre el entorno del sistema de campo epistemológico

Antes de nada hay que recordar que el sistema de campo epistemológico es un sistema conceptual, por lo que las relaciones que pueden mantener sus componentes con el entorno (E), así como el conjunto del sistema con el entorno, deben ser de naturaleza abstracta, conceptual, y por tanto se trata de relaciones basadas en información de diferentes tipos (sintáctica, semántica o pragmática). El entorno del sistema epistemológico ingenieril tiene tres alcances: el entorno de componentes (trasfondos y fondo de conocimiento); el entorno del sistema epistemológico; y el entorno del sistema complejo de la actividad ingenieril.

Por el entorno de componentes se entienden aquellos componentes o sistemas (externos al sistema de campo epistemológico) que están relacionados con sus componentes. Como, por ejemplo, disciplinas científicas que no formaran parte del trasfondo de conocimientos científicos de la ingeniería, pero que estuvieran relacionadas; y lo mismo con el trasfondo de conocimientos tecnológicos y específicamente ingenieriles. Así, serían entorno del trasfondo de la ingeniería, disciplinas como: arquitectura, urbanismo, o sociología.

El segundo alcance del entorno del sistema de campo epistemológico serían, por definición, el resto de los sistemas que forman parte de un supersistema o sistema complejo. De modo que cuentan como entorno los otros sistemas del sistema complejo ingenieril: sistema óptico material y sistemas semióticos; sistema conceptual metodológico y sistema

conceptual ético-axiológico; y, finalmente, los sistemas de acciones o sistemas funcionales praxiológicos.

Finalmente, puede considerarse como entorno –más periférico, si cabe– de los componentes y sistema epistemológico ingenieril, el formado por sistemas que pueden tratarse como de mayor complejidad, abarcantes o superiores al sistema complejo de una tecnología ingenieril, siempre y cuando se compartan sistemas semióticos, como son el sistema cultural (nivel $n+1$, abarcante); y de forma aún más extensa (nivel $n+2$), el supersistema social.

4.2.3.3. Sobre las relaciones (estructura) del sistema de campo epistemológico

Como se trata de un sistema de campo formado por componentes conceptuales, sólo se contemplan las relaciones de información entre los componentes (o entre componentes y entorno). Así, siguiendo a Mosterín (1993: 25) podrá hablarse de tres tipos de información: sintáctica, semántica y pragmática. Y para esta última, cabe considerar a su vez tres subtipos: descriptiva, práctica y valorativa.

En la figura de componentes del sistema de campo epistemológico aparecen una serie de relaciones entre componentes que pueden sugerir una estructura: los trasfondos de conocimiento (formal, científico y tecnológico) están en la base de los fondos de conocimiento ingenieril. Se distinguirán, como endoestructura, las relaciones entre componentes (C-C).

Por su parte la exoestructura atiende a las relaciones entre componentes y su entorno (C-E), tanto las de entorno de otros sistemas (biológico, socio-cultural, socio-económico, socio-político); como las relaciones C-E con otros sistemas del sistema complejo de una tecnología.

4.2.4 Sistema conceptual del campo metodológico de la tecnología ingenieril

El segundo sistema conceptual que se considera para la tecnología ingenieril es el metodológico. Tan relacionado con el epistemológico que, en un primer momento, he valorado la opción de considerar el campo metodológico como un subcampo de uno agregado que se denominara ‘campo epistemo-metodológico’. Pero, aunque finalmente he optado por mantenerlos separados, eso no significa que no haya unas importantes relaciones entre ambos, y que se deban tener en cuenta. La idea es que, dada la importancia y complejidad de los aspectos epistemológicos y metodológicos de la ingeniería, pudiera disponerse –también para la metodología– de un sistema propio, de acuerdo con el modelo sistémico CES, que refleje adecuadamente la relevancia y trascendencia del sistema de métodos ingenieriles, como unidades (métodos) que ‘condensan’ la información pragmática práctica de la ingeniería.

Voy a recordar que la metodología (Mt) de una tecnología, de acuerdo con Bunge (1985: 232) “consiste exclusivamente en procedimientos escrutables (verificables, analizables, criticables) y justificables (explicables), en particular: el método científico (problema cognitivo-verificación de hipótesis-corrección final de la hipótesis o reformulación del problema), y el método tecnológico (problema cognitivo-diseño-prueba-prototipo-prueba-corrección del diseño o reformulación del problema)”.

Las consideraciones de Bunge permiten plantear dos primeros conjuntos de componentes para el campo metodológico de la tecnología ingenieril: (i) el método científico (MCt); y (ii) el método tecnológico (MTt). Quiero hacer la observación de que ambos métodos son procedimientos (escrutables y verificables) de resolución de problemas cognitivos, a su vez relacionados con los procedimientos genéricos de descubrimiento e invención o desarrollo tecnológico, pero que con esos dos métodos –con su importancia– no se agotarían las

necesidades metodológicas de la actividad tecnológica en su más amplio sentido, como le corresponde abarcar al sistema complejo de una tecnología ingenieril.

Por otro lado, a partir de las cuestiones señaladas en Quintanilla (2005: 173) también pueden identificarse como elementos relevantes para la materia metodológica los conceptos de: invención, innovación, modelo, prueba, diseño y desarrollo tecnológico. Todos estos componentes se tienen en cuenta a la hora de configurar la propuesta de sistema de campo metodológico, quedando en su caso incluidos en los métodos específicos. La unidad fundamental que considero para estructurar el sistema de campo metodológico son ‘métodos’, en tanto procedimientos, entendidos como un conjunto de información pragmática práctica que viene a definir la estructura de un sistema de acciones específico, como pueden ser, por ejemplo, el método de diseño, o el método de evaluación externa.

A su vez, para presentar el campo metodológico, he optado por subdividirlo en cuatro áreas, correspondientes a las funciones (sistemas de acciones) que considero necesarias para dar cuenta de modo integral de la actividad tecnológica ingenieril (general). Como se observa en la figura, he situado las diferentes áreas funcionales en relación con dos variables: la complejidad (eje vertical); y la especificidad del proceso (eje horizontal). Así, las áreas en que pueden encontrarse diversas metodologías características serían: (i) área de docencia y formación; (ii) área de investigación e innovación; (iii) área de producción; y (iv) área de gestión²⁶⁸. En cada una de esas áreas he incluido –en una primera aproximación– diversos métodos específicamente característicos de cada una de las áreas.

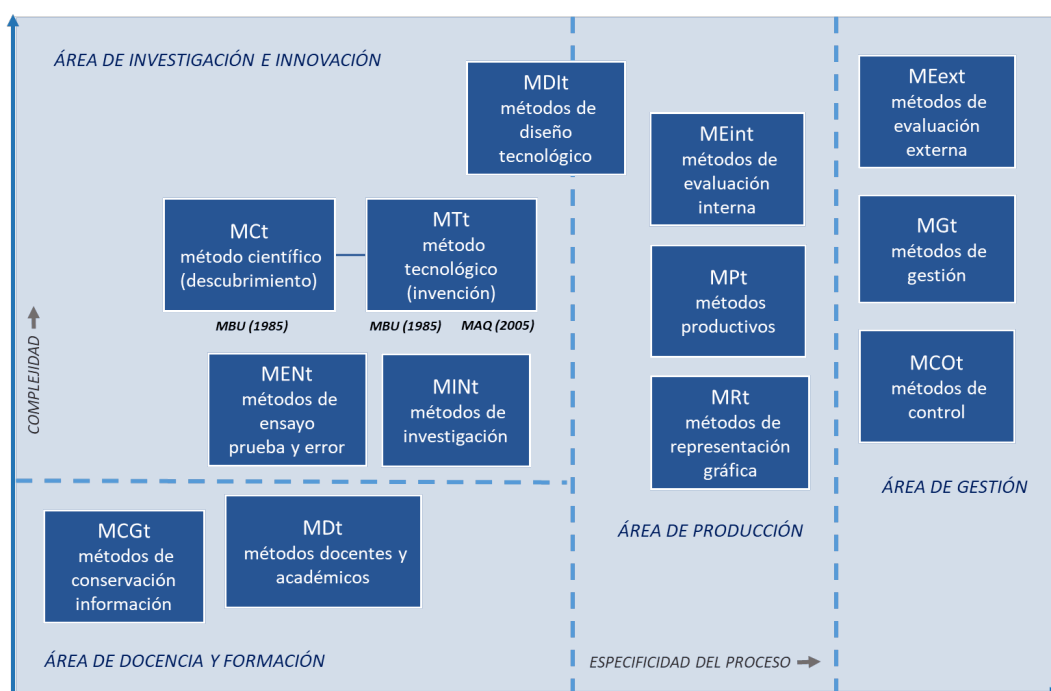


Fig. 4.2.4.a) Elementos (por áreas) del campo metodológico de una tecnología ingenieril

²⁶⁸ Como se irá viendo, estas cuatro áreas van a tener una importancia transcendental en la estructura general del sistema complejo ingenieril. Aunque en el sistema metodológico aparecen por primera vez, más adelante –en los sistemas funcionales praxiológicos– se verá que se correlacionan con las cuatro funciones praxiológicas generales (académico-docente, de cambio ingenieril, de producción, y de gestión del sistema complejo ingenieril); y también en el capítulo siguiente se verá que se corresponden con las cuatro instituciones (académica, investigadora, profesional productiva, y gestora) del complejo institucional (CIN) del sistema ontológico concreto de la ingeniería.

Como puede observarse, para el área de docencia considero tanto los métodos de conservación y gestión de la información (MCGt), como los métodos docentes y académicos (MDt). En el área de investigación e innovación tengo presentes los métodos de ensayo mediante prueba y error (MENT) así como los métodos más genéricos de investigación (MINT), que específico en el método científico (MCt) y en el método tecnológico (MTt) de invención; y finalmente incluyo los métodos de diseño tecnológico (MDIt). En el área de producción incluyo: los métodos de representación (MRt), los métodos productivos (MPt) y los métodos de evaluación interna (MEint). Para terminar, en el área de gestión estoy incluyendo los métodos de control (MCOt), los métodos de gestión (MGt), y los métodos de evaluación externa (MEext).

4.2.4.1 Sobre los componentes del sistema de campo metodológico de una ingeniería

Siguiendo la práctica de los sistemas anteriores, desarrollo y represento gráficamente el conjunto de componentes que entiendo corresponderían –en una primera aproximación– al sistema de campo metodológico de una tecnología ingenieril.

Voy a considerar dos tipos de componentes. En primer lugar, un conjunto de métodos, como elementos característicos del sistema de campo metodológico. Y, en segundo lugar, como en los otros sistemas conceptuales, los lenguajes y sistemas gráficos, en tanto sistemas semióticos como sistemas puente entre los propios métodos y los agentes (comunidades profesionales ingenieriles) del sistema ontológico concreto.

Como puede observarse, mantengo como componentes del sistema a los dos elementos (métodos) identificados previamente en el campo metodológico. Sobre el método científico (MCt) podría debatirse, en su caso, la posibilidad de considerarlo no como componente sino como entorno del sistema de campo metodológico. Pero, atendiendo a que es precisamente uno de los subcomponentes inicialmente especificado en Bunge (1985) y al carácter tan general del mismo, es por lo que he decidido mantenerlo como componente.

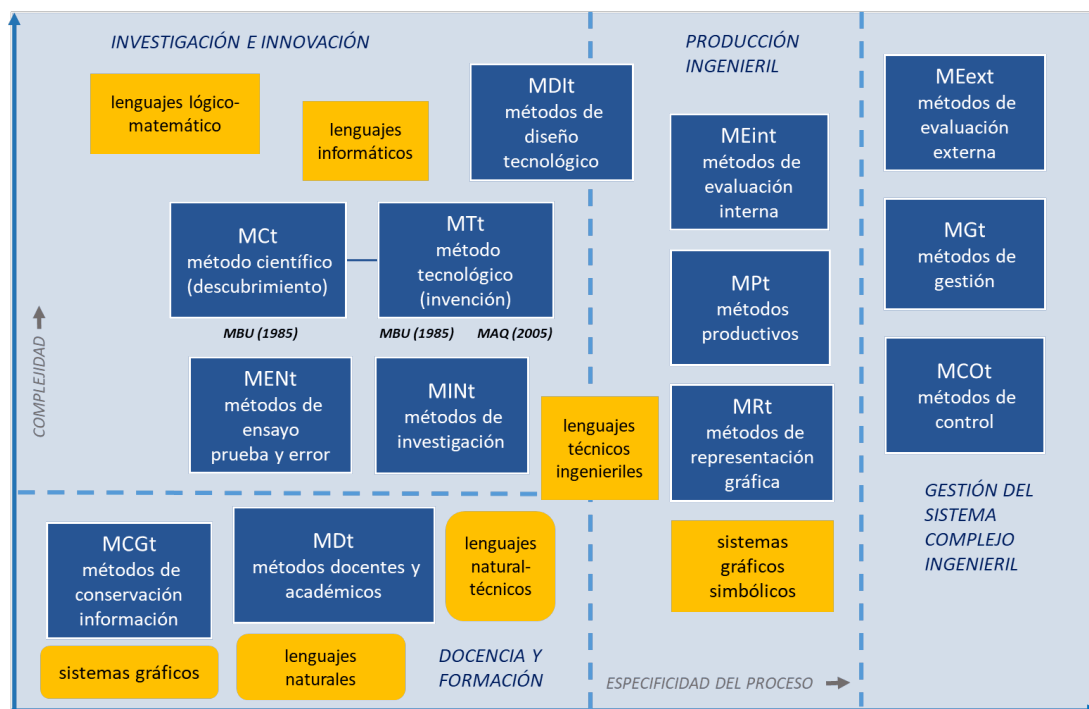


Fig. 4.2.4.b) Componentes del sistema (conceptual) del campo metodológico de una tecnología ingenieril

4.2.4.2 Sobre el entorno del sistema de campo metodológico de tecnología ingenieril

Empiezo remarcando que el sistema de campo metodológico es un sistema conceptual, de modo que las relaciones de sus componentes con su entorno deben ser de naturaleza conceptual, por lo que hablamos de relaciones de información (sintáctica, semántica o pragmática). El entorno (E) del sistema metodológico ingenieril tiene tres alcances: el entorno particular de sus unidades componentes; el entorno del sistema metodológico; y el entorno del sistema complejo de la actividad ingenieril.

En primer lugar, el entorno de los métodos, como unidades componentes, en donde puede haber relaciones con otros métodos (no ingenieriles), o con aspectos epistemológicos o axiológicos de interés para los métodos. También, como los métodos se han agrupado en correlación con lo que serán los cuatro sistemas funcionales praxiológicos, podrá entenderse que los métodos de un área (por ejemplo, de producción ingenieril) tendrán como entorno al sistema funcional correspondiente (en este caso el sistema funcional praxiológico de producción ingenieril).

El segundo alcance del entorno del sistema de campo metodológico sería, por definición, el resto de los sistemas que forman parte del sistema complejo ingenieril, así sistema óptico material y sistemas semióticos; sistema conceptual epistemológico y sistema conceptual ético-axiológico; y, los sistemas de acciones o sistemas funcionales praxiológicos.

En último lugar, puede considerarse como entorno (más amplio) del sistema metodológico ingenieril, al formado por sistemas de mayor complejidad, abarcales o superiores al sistema complejo de una tecnología ingenieril, siempre y cuando se compartan sistemas semióticos, como son el sistema cultural (nivel $n+1$, abarcale) o el sistema económico (nivel $n+1$); y de forma aún más extensa (nivel $n+2$), el supersistema social.

4.2.4.3 Sobre las relaciones (estructura) del sistema de campo metodológico

Como en los casos anteriores, voy a considerar en primer lugar las relaciones endoestructurales, que se dan entre componentes (C-C), y posteriormente las relaciones exoestructurales, que se dan entre los componentes y el entorno (C-E). Estamos, dada la naturaleza abstracta del sistema de campo metodológico, ante relaciones informativas.

Antes de nada, tengo que remarcar que los componentes 'métodos' son objetos conceptuales complejos que contienen información pragmática práctica sobre secuencias de acciones adecuadas para alcanzar un objetivo (parcial) específico. Sin embargo, por ahora voy a considerar los distintos métodos enunciados como componentes unitarios. Así, desde la perspectiva endoestructural, entre estos distintos métodos como componentes, se establecería, cuanto menos, una relación informativa sintáctica o estructural, de acuerdo con la denominación de Mosterín (1993). Esta información estructural como relación será más fuerte entre componentes que forman parte de una misma área funcional (docente, investigadora, productiva o de gestión), y más débil entre los componentes que formen parte de áreas funcionales distintas.

Se podría representar, por ejemplo, como una relación informativa estructural fuerte, la existente entre el método científico y el método tecnológico ($MCt=MTt$), mientras que una relación informativa estructural menos fuerte podría darse entre los métodos docentes y los métodos productivos ($MDt-MPt$).

Por otra parte, la exoestructura del sistema de campo metodológico trata de las relaciones entre componentes y entorno (C-E). Aquí pueden destacarse las relaciones cruzadas entre el sistema de campo metodológico y el sistema de campo ético-axiológico, en particular de los componentes endógenos del sistema axiológico, que se definen como endógenos en tanto tienen participación en el diseño y en los procesos de la tecnología ingenieril.

4.2.5 Sistema conceptual del campo ético-axiológico de una tecnología ingenieril

Siguiendo con la elucidación de sistemas conceptuales, vamos a ocuparnos ahora de la dimensión axiológica y ética de la tecnología ingenieril, partiendo de los avances en que se identifica un campo axiológico, que se centra en los valores, y por tanto en la dimensión racional evaluativa (y electiva) del sistema complejo ingenieril.

El objetivo en este estadio es presentar un sistema de campo centrado en los valores generales (axiológico), pero que incluya también los conceptos, valores y preceptos morales (ético), estudiado desde una perspectiva sistemista, como “sistema de valores” (*cfr.* Mosterín, 1993: 112; *cfr.* Quintanilla, 2005: 237). Una perspectiva sistémica, que como recuerda Marcos (2010: 94), en Agazzi “produce una reivindicación de la ética sin tintes moralistas. Es la propia lógica de cada subsistema, especialmente del subsistema científico y del tecnológico, la que indica que se debe prestar atención a los criterios morales. Además, la misma ética es vista como parte del sistema, como un subsistema entre otros, en un plano horizontal, no como un ámbito ajeno que deba superponerse al resto y controlarlos.”

Para describir los elementos del campo ético-axiológico que propongo como punto de partida, voy a apoyarme fundamentalmente en aportaciones de Bunge (1980, 1985, 2002, 2004) y de Quintanilla (1989, 2005), así como en Mosterín (1993)²⁶⁹ y Wenceslao Gonzalez (2015)²⁷⁰. Pero antes de nada, quiero señalar que la idea de utilizar el formato de ‘campo’ para tratar sobre la materia de la axiología y la ética de la tecnología ingenieril no está presente en ninguno de los trabajos citados. De modo que trataré de mantener clara la distinción entre estas aportaciones y mis desarrollos adicionales para llegar a describir la propuesta de ‘campo ético-axiológico de una tecnología’; como paso previo para transformar ese campo una propuesta de ‘sistema de campo ético-axiológico’ de una ingeniería.

La primera cuestión a señalar en este campo es que se presenta como la conjunción de dos subcampos: el ético y el axiológico. A pesar, como se verá, de que el espacio axiológico se amplía más allá de los valores, he preferido mantener a la ética en un espacio claramente diferenciado. Esto obedece a dos motivos. En primer el hecho de que la ética es una disciplina filosófica de un elevado grado de madurez y desarrollo, por lo que aparece como tal en muchos de los tratados contemporáneos de filosofía de la tecnología. El segundo de los motivos es que diferentes clases de tecnologías, en tanto actividades profesionales –como la ingeniería o la medicina– disponen de un voluminoso *corpus* ético, muy especialmente en lo que se conoce como ética profesional²⁷¹.

Para elaborar el modelo nuclear de elucidación filosófica sistemista de una tecnología ya he presentado un campo axiológico con dos elementos genéricos seleccionados de entre la once-tupla de Bunge (1985): valores (Vt) y objetivos (Ot). Es evidente que los valores forman parte, de hecho la parte más importante, de este campo. Pero la inclusión de los objetivos de la tecnología²⁷² sí que va a requerir más explicaciones, como se irá viendo.

Entonces, entre los elementos básicos de este campo contaré principalmente con los valores. Para Bunge (1985: 232) los valores de una tecnología “consisten en una colección de

²⁶⁹ Mosterín, J. (1993): *Filosofía de la cultura*, Madrid, Alianza Editorial.

²⁷⁰ González, Wenceslao J. (2015): “On the Role of Values in the Configuration of Technology: From Axiology to Ethics”, pp. 3-28, in W. J. González (ed) *New Perspectives on Technology, Values, and Ethics: Theoretical and Practical*, Springer.

²⁷¹ Por este motivo, me reservo la posibilidad de subdividir más adelante el sistema de campo ético-axiológico en un sistema conceptual axiológico, y en un sistema conceptual ético.

²⁷² Cuando se han incluido los objetivos como elementos del campo axiológico se ha realizado, en primera instancia, también por exclusión de los otros campos (epistemológico y metodológico). Además, hay que tener en cuenta la dificultad de partida puesto que la caracterización de los objetivos de Bunge (1985: 232) se hace en un nivel poco genérico de la tecnología (entendida desde la comunidad), como se ve en la cita: “Los *objetivos* A de los miembros de la comunidad profesional C incluyen inventar nuevos artefactos, nuevas formas de utilizar los antiguos y planes para realizarlos y evaluarlos.”

juicios de valor sobre cosas o procesos naturales y artificiales, en particular materias primas y productos terminados, procesos de trabajo y organizaciones sociotécnicas”, y poco más adelante (Bunge, 1985: 236) señala que los valores o juicios (expertos) de valor “resultan de evaluar cosas o procesos naturales o artificiales a la luz de los objetivos”. Esta definición puede completarse con una aclaración del mismo autor (Bunge, 1980: 182) sobre la noción de valor como “una componente del concepto complejo objeto-al-que-asignamos-valor-en-cierto-respecto.” Estas definiciones, de naturaleza práctica, presentan una cierta circularidad, que no hace sino poner de manifiesto las dificultades de partida que presenta esta cuestión.

Respecto a los valores, algo en lo que se encuentra un alto grado de consenso es en su carácter positivo²⁷³, una tendencia que indica Mosterín (1993: 130) al advertir que “en la filosofía más reciente los valores son considerados como actitudes positivas del agente.” Así, por ejemplo, en la definición de Rescher (1999: 74): “un valor es un rasgo de cosas o personas o estados de cosas en virtud del cual llega a estar justificada una actitud positiva hacia ellas.”

Esta concepción de los valores ha producido una ampliación del campo conceptual de los valores, en tanto actitudes positivas, para incluir, siguiendo a Mosterín (1993: 130) “además de los valores tradicionales, los deseos y caprichos, los fines y objetivos, las ideas morales y principios estéticos, y todo tipo de preferencia y de tendencias”, y continúa señalando que “esta última generalización es aún ampliada por la cibernética, la teoría de sistemas dinámicos y otras ramas del pensamiento actual, que consideran no sólo la acción humana, sino todo tipo de sistemas naturales o artificiales”.

De lo anterior puede derivarse (al objeto de identificar el sistema de campo ético-axiológico) que: (i) los valores (en sentido más estricto) forman una parte de las funciones evaluativas; (ii) que los valores en el sentido actual responden a actitudes positivas; (iii) que en el campo axiológico podrían incluirse, además de los valores, otros componentes como los fines y objetivos; y (iv) que al hablar de valores pueden ponerse de manifiesto dinámicas de tendencias polares.

Estas posibilidades aparecen articuladas en Quintanilla (2005: 249): “los valores podemos caracterizarlos como aquellos criterios que nos sirven para justificar nuestros fines (...) y [los fines] son objetos o estados de cosas concretos que se consideran dignos de ser conseguidos”²⁷⁴. Así, los valores y los fines aparecen claramente vinculados, como “componentes valorativos de la cultura”. Esto subraya a su vez el carácter cultural, y la naturaleza informativa de estos elementos, en tanto que “la *información cultural valorativa* consiste en el conjunto de objetivos, fines de actuación y valores, preferencias o actitudes que se comparten y transmiten por aprendizaje social entre los miembros de un grupo social.” (Quintanilla, 2005: 249).

Por esto se podría hablar, para el nivel general del sistema ingenieril, de una interrelación entre los objetivos y fines de actuación con los valores, de modo que, simplificando mucho: los objetivos²⁷⁵ serían información que caracteriza estados de cosas que se prefieren conseguir, al tiempo que los valores serían los criterios de evaluación racional y justificación

²⁷³ Sin embargo, varios autores, entre los que se encuentra Bunge, plantean la posibilidad de posturas de oposición a valores, de modo que éstos podrían llegar a presentarse como valores negativos en algunos casos (*cfr.* Bunge, 1980: 183). Esto ha llevado en que algunos casos se pueda hablar de ‘antivalores’, entendidos como la contraparte negativa de un valor determinado. También está en esta línea Mosterín (1993: 130) al afirmar que “de un modo máximamente general, podemos hablar de valores siempre que hay tendencias polares atractivas y repulsivas, positivas y negativa”, lo que sugiere tanto una visión dinámica de los propios valores, que se manifestaría en sus interacciones.

²⁷⁴ Esto enlaza con la posición citada de Rescher, del valor como rasgo que justifica una actitud positiva hacia algo.

²⁷⁵ Si bien el autor habla de ‘objetivos’ y de ‘fines de actuación’, también alude a “fines u objetivos de la acción” (Quintanilla, 2005: 249); por lo que a los efectos presentes voy a considerarlos en cierto modo equivalentes, en tanto me permite correlacionar mejor con la propuesta de la once-tupla bungeana de una tecnología, que habla de ‘objetivos’.

de esas preferencias. Pero las preferencias (relacionadas con valores), además de referirse a constructos como los objetivos o fines, como valores a alcanzar por la variable estado²⁷⁶, también pueden mostrarse a la hora de elegir los medios concretos para alcanzar dichos objetivos²⁷⁷. Esto produce una relación diferente de los valores con los medios, por una parte, y con los objetivos (y los fines), por la otra. Respecto a esta última relación, entiendo que los objetivos podrían considerarse como un ‘conjunto diseñado y coherente de valores’²⁷⁸, y que por tanto podrían incorporarse como componentes diferenciados en un campo ético-axiológico ‘ampliado’.²⁷⁹

Llegado este punto, el sistema de campo ético-axiológico que voy definiendo estaría compuesto por dos tipos de componentes (valores y objetivos, como conjuntos de valores-objetivo) de naturaleza conceptual, cuyo contenido cultural informativo responde en gran medida al tipo de información pragmática valorativa o evaluativa (*cfr.* Mosterín, 1993: 25).

El siguiente paso a la hora de representar el sistema ético-axiológico es identificar los diferentes tipos de valores. Para ello hay dos maneras de abordar la cuestión. En la primera – que puede considerarse como la filosóficamente más importante– los valores se clasifican, según su estatus en relación con la tecnología ingenieril, como ‘internos’ o ‘externos’ (también como ‘endógenos’ o ‘exógenos’). La otra forma de agrupar los valores es según su materia, como por ejemplo, valores morales, estéticos, culturales, económicos... Esta última es una forma poco desarrollada, puesto que suele responder al mero interés por enumerar una serie, o bien para apoyar con ejemplos las atribuciones de la primera clasificación.

Para Bunge (1985: 236) pueden considerarse, por una parte, los valores en tanto juicios de valor internos sobre los procesos tecnológicos (como los problemas y diseños en la investigación y desarrollo), lo que se denominaría ‘endoaxiología’ de la tecnología. Por otra parte, los juicios de valor sobre cosas o procesos, procesos de trabajo y organizaciones sociotécnicas se incluirían en lo que denomina ‘exoaxiología’ de la tecnología.

Esta dicotomía aparece con claridad en Quintanilla (1989), en donde presenta como idea novedosa en la axiología de la técnica la “propuesta de distinguir tajantemente entre valores internos y valores externos. Por valor interno entiendo aquellos que se refieren a propiedades de un sistema técnico que dependen exclusivamente de su propia estructura, no de su uso o ubicación en un determinado contexto social” (Quintanilla, 2005: 182). Aquí pone el autor como ejemplo de valor intrínseco la factibilidad o eficiencia de un proyecto o diseño, y como

²⁷⁶ Hablo de objetivos ‘como valores a alcanzar por la variable estado’ a partir de la explicación de los procesos de realimentación en sistemas dinámicos de Aracil (1986: 82), en donde afirma que “el propósito del sistema es mantener el valor alcanzado por la variable *estado*, en un valor previamente establecido para la variable *objetivo*.” Los gráficos explicativos de este proceso (p. 83-84) serán considerados en la elucidación del proceso de evaluación en el subsistema praxiológico de gestión de una tecnología.

²⁷⁷ La cuestión de la deliberación racional acerca de los valores, y en particular las diferencias entre racionalidad de fines y racionalidad de medios, ha sido tratada profusamente, como puede verse, por ejemplo, en Rescher (1999: 77-79).

²⁷⁸ Se me presenta una opción alternativa, que puede desarrollarse a partir del caso más sencillo, como sería que un objetivo se formulara a partir de un solo valor. Se estaría en ese caso ante un valor-objetivo (por supuesto no con la acepción de ‘objetividad’ sino en relación con un ‘fin’), y esto podría llevar a argumentar que del mismo modo que se afirma que los objetivos son conjuntos de valores, podría afirmarse que los objetivos sean una pluralidad de valor-objetivo, y que por tanto que los objetivos fueran solamente especificaciones de valores.

²⁷⁹ Esta opción que planteo de incluir los objetivos en un sistema axiológico ‘ampliado’, debería –en todo caso– ser compatible con la posición de Quintanilla (2020, com. personal): “Los objetivos de un sistema técnico son el conjunto de estados que se consideran deseables como objeto intencional del sistema de acciones en que consiste un sistema técnico o tecnológico. Así que los objetivos son estados de cosas. Los valores son criterios o reglas para establecer y justificar las preferencias en favor de un determinado estado de cosas (objetivos y fines de la acción intencional).” Esa compatibilidad se remitiría, en mi opinión, al hecho de que los ‘objetivos’ a que yo me refiero son de la ingeniería (en general) o de una específica ingeniería, pero no de un determinado sistema técnico (que, como tal, sería uno de los sistemas técnicos que caracterizarían a una ingeniería dada).

valor extrínseco la idoneidad social de la aplicación de una tecnología. Para este autor, los valores extrínsecos se refieren tanto a los sistemas tecnológicos como a quienes los usan o desarrollan; pudiendo distinguirse dos grupos, uno relativo a la idoneidad (económica, moral, política) para un grupo social, y otro relativo a las consecuencias para los individuos o para la estructura social (*cfr.* Quintanilla, 2005: 269).

La distinción entre valores internos y externos de la tecnología también aparece en González (2015: 8-9), destacando la amplitud de su validez, puesto que para “cada una de estas tres importantes aproximaciones a la tecnología –como conocimiento, empresa humana y producto o artefacto– involucra dos categorías principales de valores de acuerdo a su estatus: ‘interna’ y ‘externa’”. Por una parte, hay algunos valores que son endógenos a los diseños, procesos y resultados de la tecnología que se desarrolla (eficacia, eficiencia, etc.), y, por otra parte, existen valores que son exógenos a los contenidos de la tecnología como tal, y esos valores contextuales (ecológicos, sociales, culturales, políticos, etc.) completan la imagen de la configuración estructural de la tecnología.”

En González (2015: 16-20) se desarrolla la distinción entre valores éticos endógenos y exógenos, además de poner de manifiesto la perspectiva dinámica (en cuanto a la tecnología como actividad histórica) de los valores, así como la idea de que los mismos valores pueden llegar a considerarse como internos o externos también en función del nivel del análisis: de la tecnología en general, de una tecnología específica, o de los agentes que forman la comunidad tecnológica. Resulta importante destacar cómo el hecho de que un valor sea considerado como ‘interno’ o ‘externo’ a la tecnología dependerá del momento y contexto en que se analice la tecnología (en general).

Pero además de esta distinción dicotómica principal, entre valores internos y externos, hay otras posibles clasificaciones, como según el tipo de valores de que se esté hablando, lo que surge por ejemplo cuando Bunge (1980: 204) se hace la pregunta sobre qué clases de valores maneja el tecnólogo, si son “económicos, sociales, cognoscitivos, estéticos o morales”; o cuando señala como tipos de valor los “valores biológicos, psicológicos, epistémicos, estéticos, morales, sociales y económicos, entre otros” (Bunge, 2002: 52). Esto nos permite disponer de un primer abanico de clases de valores, a los que en buena lógica podrían añadirse los valores tecnológicos (*cfr.* Quintanilla, 2005: 181) y entiendo que tal vez tendrían cabida otras clases como la de valores culturales y la de valores ecológicos (*cfr.* Quintanilla, 2005: 269). Un conjunto al que pueden sumarse los valores políticos y, por supuesto, también los valores éticos (*cfr.* González, 2015: 17).

Entonces, a partir de los autores referenciados, puede elaborarse una nómina de tipos de valores que aparecen en la tecnología, de acuerdo con su materia, en donde encontraríamos valores: biológicos, psicológicos, morales, cognoscitivos, epistémicos, estéticos, éticos, tecnológicos, ecológicos, culturales, económicos, políticos y sociales.

Esto no es una clasificación formal de valores²⁸⁰, sino tan solo una enumeración de temáticas de valores con el fin de llegar a identificar posibles componentes del sistema de campo ético-axiológico. A esto hay que añadir que existe un margen de incertidumbre respecto a la demarcación de los valores en sí, sobre todo cuando se está produciendo la emergencia de valores nuevos, como se pone de manifiesto en Quintanilla (2005: 235): “Podemos ver (...) el nacimiento de una nueva ética en la que ocuparán un lugar preeminente valores morales nuevos relacionados con la seguridad personal, la conservación de la naturaleza, etc.” Lo que nos podría llevar a la reflexión sobre si valores ‘nuevos’ como es el

²⁸⁰ Para Bunge (2002: 52) “es dudoso que el conjunto de valores pueda ordenarse (...) Y si los valores de tipos diferentes no pueden ordenarse, tampoco pueden compararse entre sí.”

caso de los ecológicos, pueden considerarse también de forma autónoma (dado su grado de desarrollo) o si deberían quedar enmarcados como valores morales, y por tanto tratados desde la ética ecológica o ambiental. Puede observarse una notable variedad en los tipos de valores, más si se tiene en cuenta que dentro de cada una de las ‘clases’ de valores pueden encontrarse algunos que, según el caso, pueden considerarse internos o externos. Esto podría darse tanto a lo largo de la flecha de tiempo de una tecnología, en donde se manifiestan los cambios de valores (de externos a internos, o viceversa) para una tecnología, como cuando siguiendo a González (2015: 10) se plantea que el análisis axiológico puede atender a tres niveles: el de tecnología en general, el de una específica actividad tecnológica, y finalmente el de los agentes.

A pesar de las dificultades, a partir de las dos clasificaciones anteriores, puede intentarse una aproximación combinada –de acuerdo con la atribución que hacen los diferentes autores– que ayude a una distribución espacial de los valores en el campo ético-axiológico de una tecnología. Aquí se observa una convergencia a la hora de calificar como externos los valores: sociales, culturales, políticos y ecológicos. Entre los que se consideran bien como internos o bien como externos, estarían los valores: económicos, técnicos (tecnológicos), morales y éticos. Entre los valores que se consideran como internos estarían los epistémicos. Finalmente, hay otros cuatro no calificados explícitamente, como son los valores: biológicos, psicológicos, cognoscitivos y estéticos.

Tabla 4.2.5.a) Tabla de valores (internos/externos) según temática de valores

valores (tecnología)	temática de los valores (de una tecnología)
Externos	sociales, culturales, políticos, ecológicos
externos / internos	económicos, técnicos (tecnológicos), morales, éticos
Internos	Epistémicos
(no calificados)	biológicos, psicológicos, cognoscitivos y estéticos

En la tabla queda ya de manifiesto una cierta estructura ‘estratificada’ de los valores de la tecnología, al menos de los externos y de los mixtos (externos/internos), que aprovecho para subdividir e identificar como ‘externos’ o ‘internos’. La estructura que se advierte en el campo adquiere más sentido si se tiene en cuenta el hecho de que la tecnología, como actividad y como sistema, se encontraría dentro de los sistemas que a su vez constituyen la sociedad, entendida como una envolvente más global. Si lo observamos así, se advierte que la tecnología es un sistema de nivel diferente al supersistema social o sociedad moderna que a su vez, siguiendo a Bunge (2009: 59)²⁸¹, es un supersistema (social) constituido por sistemas de cuatro tipos: (i) bio-psíquicos, (ii) económicos, (iii) culturales y (iv) políticos.

Ese lineamiento estructural que anticipaba a partir de la tabla podría observarse mejor si suponemos que hay diferentes grupos de valores porque proceden de sistemas diferentes, en tanto serían más externos o internos para la tecnología. Pero además, si se correlacionan los valores con sistemas, pueden ubicarse valores que no estaban aún calificados como externos o internos, y que estarían relacionados con el sistema bio-psíquico. Estos valores (biológicos, psicológicos, cognoscitivos y estéticos) responden a cualidades humanas básicas, por lo que entiendo que al reconocerles el estatus de ‘valores internos’ queda reflejada la condición primaria de la técnica como actividad humana. Lo que permite también definir dos niveles en estos valores: el nivel más básico o de necesidades (biológicos, psicológicos); y un nivel más alto de capacidades (morales, cognoscitivas y estéticas) del juicio humano.

²⁸¹ Bunge, M. (2009): “Dos enfoques de la Ciencia: Sectorial y Sistémico”, *Rev. Real Acad. Ciencias, Zaragoza*. 64: 51-63.

El resultado de lo anterior se plasma en la figura, en donde se representan los grupos de valores, en relación con los sistemas sociales bungeanos, con el propio sistema tecnológico, e incluso con un sistema de tipo biológico (no social) como es el sistema ecológico. Puede observar la división del subcampo axiológico en las áreas vinculadas a los sistemas mencionados. Asimismo, se diferencian los valores internos (color más intenso), en la zona inferior y central, de los valores externos (color menos intenso), en la zona superior y externa.

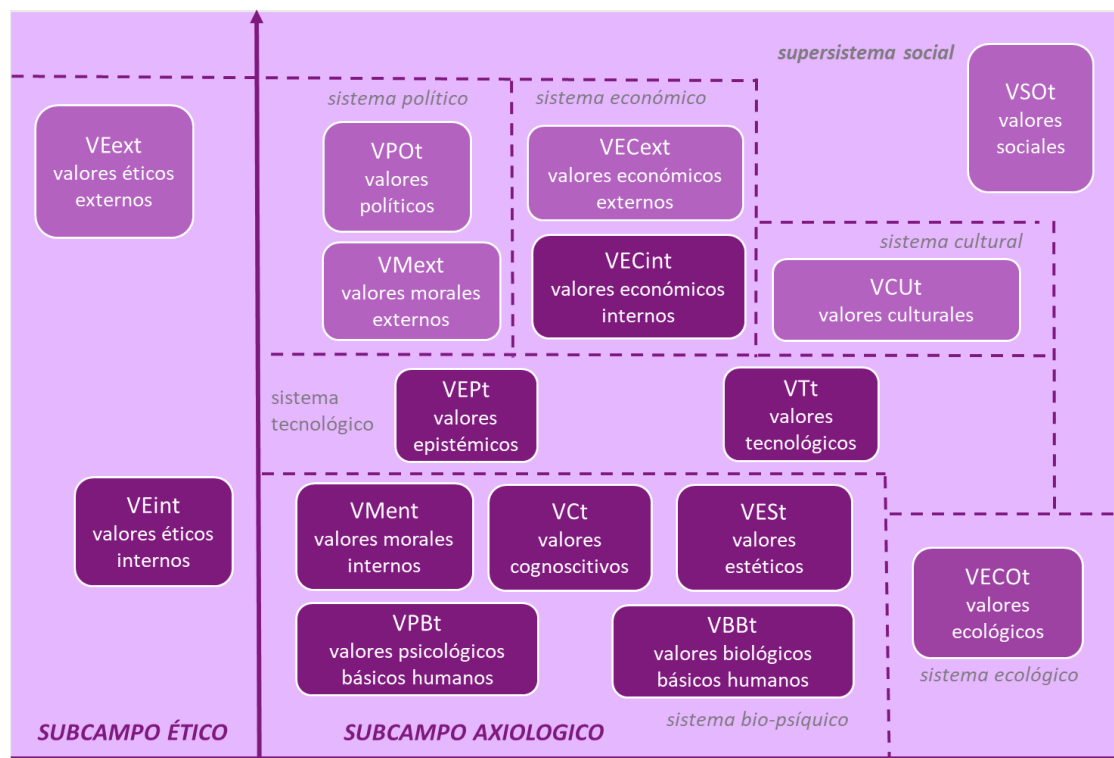


Fig. 4.2.5.a) Propuesta de grupos de valores del campo ético-axiológico de la tecnología ingenieril

Así, en este punto se dispondría ya de una propuesta elaborada de los valores en el campo ético-axiológico. Pero además de los valores, como elementos esenciales de campo, también se ha propuesto incluir los objetivos (como conjuntos de valores o valores-objetivo, en relación con un estado de cosas pretendido).

Para estos objetivos de la tecnología ingenieril sigo un razonamiento paralelo al que me ha llevado a dividir los valores (en internos y externos), apoyándome en la noción de ‘objetivos intencionales’²⁸² de Quintanilla (2005: 226), y basándome en la diferencia que Rescher (1999: 94) establece para la ciencia entre objetivos internos y externos. De modo que voy a plantear esa misma dicotomía para los objetivos de la tecnología ingenieril: internos y externos respecto a la propia tecnología ingenieril.

²⁸² En relación con esta noción, destacar siguiendo a Quintanilla (2005: 226) que “una acción es efectiva si sus objetivos intencionales están incluidos en los resultados efectivamente conseguidos.” Lo que entiendo que sugiere no solamente la conexión entre los objetivos y las acciones (lo que sería entre el sistema ético-axiológico y el sistema praxiológico que estoy proponiendo), sino también la posibilidad de considerar tanto objetivos intencionales (diseñados, por tanto) como ‘no intencionales’, lo que puede incluir objetivos no pretendidos pero que deriven lógicamente o prácticamente de los objetivos intencionales. Aquí planteo la posibilidad, en un estudio más detallado de los objetivos, de considerar que los objetivos intencionales puedan ser tanto explícitos, aquellos que se expresan, como implícitos.

Para completar la propuesta voy a incluir en el campo ético-axiológico otro tercer tipo de elemento, como son las normas o reglas. Hay varias razones para ello, pero la más clara sería que la ética (el subcampo ético, como lo estoy presentando) está más orientada al estudio de las normas que de los valores, como se refleja en Bunge (1980: 224) cuando señala que “entiendo por *tecnoética* el estudio de los códigos morales inherentes a las diversas ramas de la tecnología, tanto los adoptados de hecho como los aceptados de palabra (pero no siempre de hecho) cuanto los que deberán adoptarse.” O cuando afirma que la ética es “el estudio filosófico de las normas morales o las reglas de la recta conducta” (Bunge, 2004: 357).

Para centrar la cuestión sobre las normas sigo a Mosterín (1993: 134) cuando pone de manifiesto que las normas o reglas son modalidades convencionales en tanto “los miembros de un grupo social podemos ponernos de acuerdo en establecer necesidades, posibilidades e imposibilidades convencionales, llamadas obligaciones, permisos y prohibiciones.” De acuerdo con este autor, las normas son información pragmática, tanto práctica como valorativa. Se añade que las normas pueden presentarse no solamente aisladas, sino que también pueden aparecer como complejos (como sistemas informacionales), en grupos sociales (ej. un club, una empresa o una escuela), e instituciones, que “son conjuntos de reglas, normas y posiciones convencionales” (Mosterín, 1993: 134).

Puede observarse que en tanto información pragmática y valorativa, las normas (como sistemas informacionales), estarían formadas en gran medida a partir de valores, e incluso también por los valores-objetivo de la propia norma. Así, presento una propuesta por la que voy a entender las reglas y normas como un sistema²⁸³ específico de valores (formado fundamentalmente por una misma clase de valores y valores-objetivo determinados). Por el momento, voy a establecer una división entre reglas y normas para disponer de un deslinde entre sistemas de valores que recogen acuerdos voluntarios o discrecionales (normas ‘débiles’), y sistemas de valores que reflejan estados de cosas forzosas (normas ‘fuertes’).

A partir de lo anterior, presento los dos subcampos (axiológico y ético) y los diferentes elementos (valores, objetivos y normas) del campo ético-axiológico de una tecnología. La idea de campo pretende explicitar ya, en cierto modo, posiciones y relaciones entre los elementos. Así, en primer lugar se divide el campo ético-axiológico en el subcampo ético (izquierda) y el subcampo axiológico (derecha). El área central e inferior de ambos subcampos se va a considerar la zona de elementos internos, mientras que la parte superior y las extremas serán para los elementos externos.

La distribución de los valores (Vt), que condiciona la estructura del conjunto de los elementos, se hace teniendo en cuenta la relación de los valores con el propio sistema tecnológico, así como la correspondencia de valores con los sistemas sociales (bio-psíquico, cultural, económico y político), incluyendo también al sistema ecológico. Por su parte, la posición de los objetivos (Ot) está relacionada con el conjunto de valores que pueden formarlos, y las normas (Nt) están vinculadas a cada clase de valores. En todo caso, el campo también presenta una gradación creciente, en complejidad, desde la parte inferior hacia la parte superior.

La definición y representación que se hace del campo ético-axiológico es un punto intermedio para continuar transformando este campo ético-axiológico en un sistema (conceptual) de campo ético-axiológico de la tecnología. Esto requiere identificar y representar los elementos característicos de un sistema de este tipo según el modelo bungeano CES, esto es, los componentes (C), entorno (E) y estructura (S) del sistema abstracto.

²⁸³ En este sentido entiendo que irían las reflexiones de Laszlo (1972) sobre valores y normas, en el apartado de relaciones (S) en los sistemas.

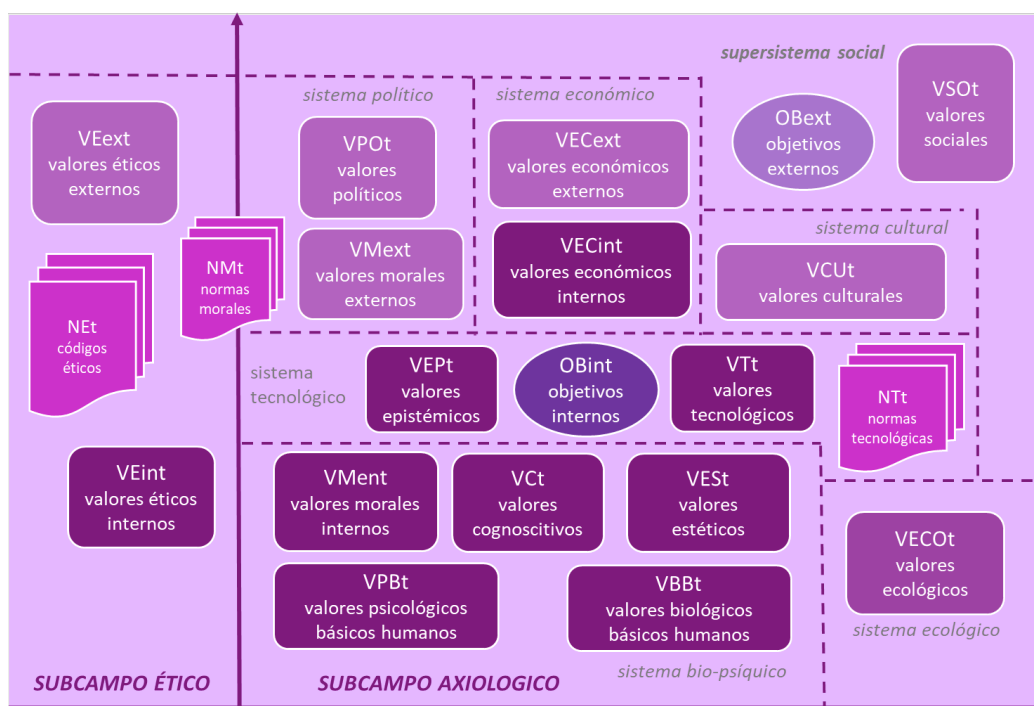


Fig. 4.2.5.b) Propuesta de elementos del campo ético-axiológico de una tecnología

A la hora de representar los distintos elementos (CES) del sistema de campo ético-axiológico, voy a procurar: (i) incluir no solamente los valores sino también posibilitar la presencia de otras entidades abstractas (objetivos y fines, códigos, normas, creencias...) que ponen de manifiesto esa noción de ‘campo ético-axiológico ampliado’; (ii) establecer los valores de una tecnología de modo que se puedan observar distintos niveles de complejidad, desde los valores objetivos básicos, que responden a las condición como actividad humana de la tecnología, pasando por los valores cognoscitivos como actividad intensiva en conocimiento; (iii) singularizar un subcampo ético, en el que aparezcan los valores éticos, en la proximidad de los valores morales; (iv) separar para el caso (modelo de una tecnología ingenieril general en las primeras décadas del siglo XXI) los valores en internos y externos, representando los primeros en el subcampo endoaxiológico como componentes del sistema; (v) presentar el espacio exoaxiológico como el entorno de los componentes del sistema, y por tanto el espacio para incluir los valores externos, que por tanto deberán ser a su vez componentes de otros sistemas (político, cultural, económico, social...); (vi) procurar que en la representación haya una componente vertical ascendente que refleje en cierto modo la complejidad progresiva de los elementos del sistema; y (vii) establecer las relaciones, de tipo informativo, considerando los tipos de información estructural o sintáctica, y la de información pragmática descriptiva, práctica y valorativa.

4.2.5.1 Sobre los componentes (C) del sistema de campo ético-axiológico

Partiendo tanto del campo ético-axiológico que acabo de presentar, como de antecedentes ya desarrollados, ya pueden considerarse cuatro grupos de componentes para sistema de campo ético-axiológico: (i) valores (internos); (ii) objetivos (internos); (iii) normas (internas); y (iv) lenguajes (como sistemas semióticos). Como se ha explicado y representado, mantengo la diferenciación entre el subcampo ético y el subcampo axiológico, aunque a la

hora de identificar y explicar los componentes lo voy a hacer enfocando desde el subcampo axiológico, pero integrando al final los componentes del subcampo de la ética.

El primer grupo de componentes son los valores internos. Se trata fundamentalmente de aquellos que he presentado como internos, pero que ahora voy a identificar con más detalle, a partir de tres grupos (valores primarios internos; valores tecnológicos endógenos; y valores contextuales internalizados) que ahora pasaré a explicar, para lo que me apoyo en la figura adjunta.

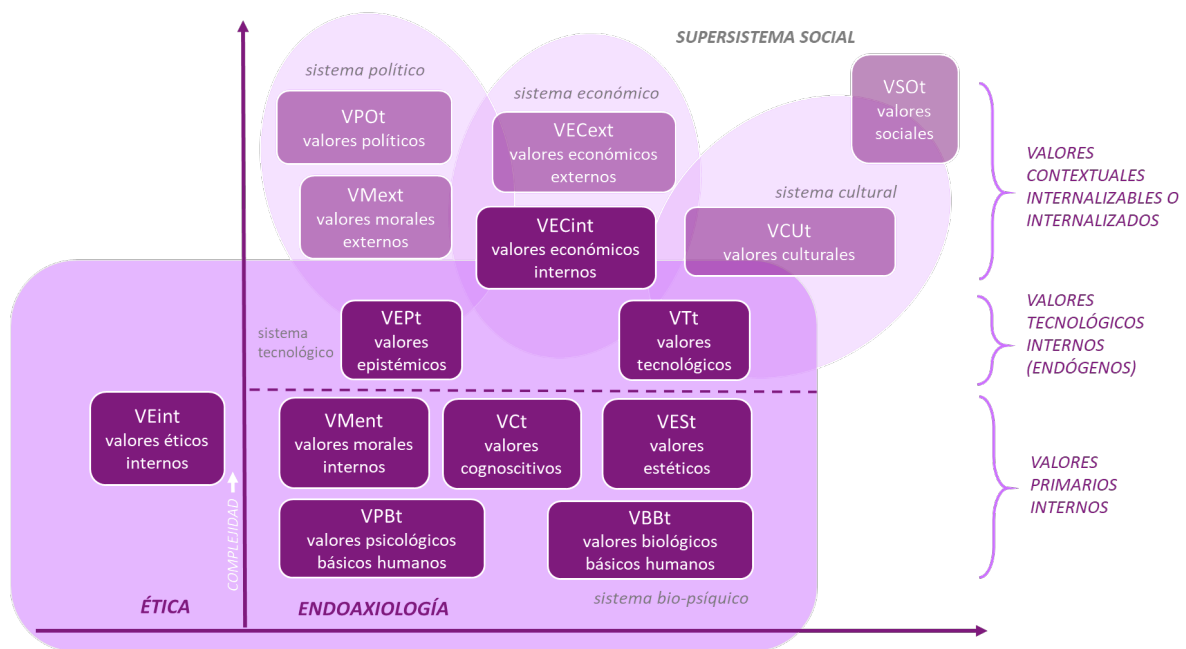


Fig. 4.2.5.c) Tipos (según origen y proceso de incorporación) de valores internos del sistema de campo ético-axiológico de una tecnología ingenieril

El grupo de ‘valores primarios internos’ es el de los valores internos básicos, que forman parte de la nómina de valores en cuanto la tecnología es una actividad humana (intensiva en conocimiento), y por tanto contemplable desde la esfera del sistema bio-psíquico bungeano, como serían los valores: biológicos básicos humanos (VBBt), psicológicos básicos humanos (VPBt), morales internos (VMint), cognoscitivos (VCt) y estéticos (VEST). Se trata de valores de bajo a medio nivel de complejidad²⁸⁴, puesto que operan en un contexto básico o fundamental de la tecnología en tanto actividad humana. Serían, por así decirlo, los que dan cuenta de los valores humanos subyacentes a su actividad orientada a la transformación creativa de la realidad.

Por otra parte, incluye los valores tecnológicos internos o endógenos²⁸⁵, que a su vez podrían subdividirse en valores que se corresponden con los sistemas que forman el sistema complejo de una tecnología, siendo por tanto valores tecnológicos (VTt) de tipo:

²⁸⁴ Cuando hablo de grados de complejidad (desde baja a alta) de los valores estoy queriendo poner de manifiesto, sin entrar por ahora más en esta cuestión, la diferencia que podemos observar entre valores primarios, como la ‘salud’, de valores tecnológicos como la ‘eficiencia técnica’, o de valores contextuales internalizados como ‘sostenibilidad’.

²⁸⁵ Este conjunto de valores se correspondería con los que González (2015: 8-9) considera que tienen estatus de ‘internos’, que son aquellos valores “endógenos a los diseños, procesos y resultados de la tecnología que se desarrolla (efectividad, eficiencia, etc)”.

ontológico²⁸⁶, semiótico, epistemológico (incluidos específicamente como VEpt), metodológico, ético-axiológico y praxiológico. Se trata de valores de un nivel de complejidad media o alta, puesto que operan en un contexto más característico de la tecnología, como actividad humana diferenciable de otras como la ciencia, o el arte, por poner dos ejemplos.

Finalmente, entre los valores, como componentes, estarían los valores contextuales²⁸⁷ internalizados. Serían aquellos valores que, aún perteneciendo al dominio del supersistema social, como son los sistemas cultural, económico y político, e incluso a un dominio de sistemas naturales (como los ecosistemas), estarían interiorizados (o internalizados) en la tecnología²⁸⁸. Para estos valores cabe incluir expresamente la denominación de ‘internos’, y así podrían²⁸⁹ encontrarse valores: culturales²⁹⁰ internos (VCUint), económicos internos (VECint), políticos internos (VPOint), sociales²⁹¹ internos (VSOint), e incluso ecológicos internos (VECOint). La complejidad de estos valores suele ser media o alta, puesto que como valores incorporados, suman la complejidad propia original tanto con las referencias al contexto de procedencia (sistema a que están adscritos) como al proceso de internalización en la tecnología.

El segundo conjunto de los componentes del sistema de campo ético-axiológico serían los objetivos (OBt). Ya se ha puesto de manifiesto la estrecha relación entre valores y objetivos (*cfr.* Bunge, 1985; Mosterín, 1993; Rescher, 1999; Quintanilla, 2005). Es más, ambos pueden considerarse como los más relevantes componentes valorativos de la cultura (*cfr.* Quintanilla, 2005). Dado que planteo la posibilidad de subdividir los objetivos en objetivos internos (OBint) y objetivos externos (OBext), incluiré en este apartado de componentes únicamente a los objetivos internos (OBint), que serían un conjunto organizado de valores (de una o varias clases) diseñado al efecto de orientar la acción y resultado de la tecnología.

El tercer conjunto de componentes del sistema serían las normas internas, esto es, por una parte las normas del subcampo ético (NEt) y por otra parte las normas que están muy relacionadas con valores internos o endógenos, como las normas tecnológicas (NTt); y finalmente, las normas morales (NMt) puesto que comparten ambas condiciones. También podría contarse entre estos componentes a los códigos (como una descripción ordenada de valores) correspondientes a los más estructurados de esos valores endógenos y al resto.

²⁸⁶ Como ejemplos de valores tecnológicos ontológicos sugiero: naturalidad, artificialidad, homogeneidad, heterogeneidad, singularidad, individualidad, colectividad, continuidad, discontinuidad...

²⁸⁷ Empleo el término ‘valores contextuales’ a partir de González (2015: 9), refiriéndose a valores “ecológicos, sociales, culturales, políticos, etc.”), que serían casos de valores exógenos o externos. Pero en mi propuesta sugiero la posibilidad de que algunos de esos valores contextuales puedan ser internalizados en la tecnología, llegando a formar parte (como ‘valores contextuales internalizados’) de la categoría general de valores internos como componentes (C) del sistema ético-axiológico de la tecnología. Por otra parte, los valores contextuales no internalizados formarían parte del entorno (E) del sistema.

²⁸⁸ Hablo de la posibilidad de internalización en la tecnología de un valor, diferente de los primarios o de los tecnológicos, que procede de un nivel sistémico superior al de la tecnología, como es el social, que a su vez articula los subsistemas cultural, económico y político. De modo que parece razonable asociar (internalizar) en la tecnología a un valor que sea característico de uno de los sistemas o supersistemas en que se enmarca la tecnología, de lo que se podría denominar como ‘contexto sistémico’.

²⁸⁹ Como se observa en las representaciones gráficas, solamente se han incluido expresamente los valores económicos internos, aunque esto se debe entender –a partir de la importancia de dichos valores- como un ejemplo. En los modelos subsiguientes más detallados, por ejemplo para las tecnologías ingenieriles, podrán considerarse otros grupos de valores internalizados, como los políticos, culturales, etc.

²⁹⁰ Los valores culturales tienen una dinámica diferente a la de los otros dos subsistemas sociales (económico y político) en tanto la tecnología –considerada como actividad humana intensiva en conocimiento- se encontraría básicamente bajo el paraguas de los sistemas culturales.

²⁹¹ Aunque en el esquema sistémico de Bunge que estoy empleando se señala que el sistema social es un supersistema que articula los sistemas cultural, económico y político, lo cierto es que diversos autores (*cfr.* González, 2015;) hablan de ‘valores sociales’, que además no siempre son sencillos de atribuir en exclusiva a alguno de los tres mencionados. Por lo que lo utilizaré también, aunque como ‘cajón de sastre’.

Además de estos componentes, sigo incluyendo, en tanto sistemas semióticos, a los lenguajes correspondientes al tipo de información pragmática valorativa, como: lenguajes naturales (LNti), lenguajes natural-técnicos (LNTti), así como los lenguajes lógico-matemáticos (LL-Mti).

En la representación de componentes del sistema divido el campo ético-axiológico en dos subcampos: por una parte el ético, y por otra parte el axiológico (que aquí voy a denominar ‘endoaxiológico’, utilizando la denominación bungeana)²⁹². También puede verse cómo se plantea, desde la parte inferior hacia la parte superior una cierta tendencia de incremento de complejidad, tanto en el tipo y naturaleza de los valores (a partir de los más básicos), hasta formas supuestamente más complejas o elaboradas.

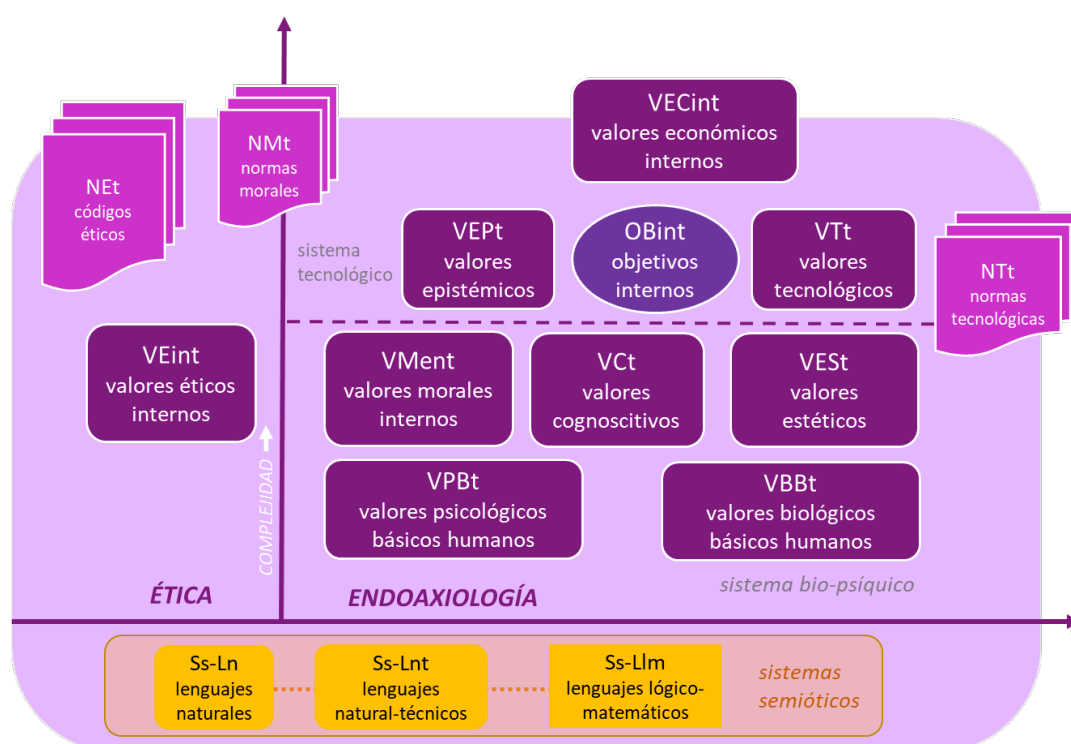


Fig. 4.2.5.d) Componentes (C) del sistema de campo ético-axiológico de una tecnología

Los componentes del sistema de campo ético-axiológico van a poder variar según se esté describiendo ese sistema de campo para la tecnología (en general), para una determinada tecnología (en particular), o incluso para una comunidad profesional tecnológica. En cierto modo, cada uno de estos niveles (descendentes) podría tener un perfil propio de valores, de modo que algunos valores externos se fueran internalizando. Por este motivo, en esta representación he dejado los elementos externos (en color más débil) que podrían llegar a considerarse como internos para otra concepción de la tecnología o, singularmente, para los desarrollos de determinadas tecnologías.

²⁹² Reservo entonces la denominación bungeana de ‘exoaxiológico’ para designar el área del campo que está ocupado por componentes o sistemas del entorno (E).

4.2.5.2 Sobre el entorno (E) del sistema de campo ético-axiológico

En primera instancia, en el entorno próximo (E_{prox}) del sistema ético-axiológico, y en un entorno situado a un mismo nivel (n) sistémico pero en diferentes regiones temáticas, estarían el resto de los sistemas que conforman el sistema complejo de la tecnología.²⁹³ En el mismo plano y semejante naturaleza (conceptual) de entorno (E^n) estarían el sistema epistemológico y el sistema metodológico; con una proximidad que llega hasta el punto de que el estatus de ‘interno’ para un valor se debe a que ese valor esté presente en el diseño y procesos tecnológicos.

También en el entorno próximo, pero en diferente plano (dada su naturaleza mixta conceptual-material) está el complejo de los sistemas semióticos, como entorno con el que se relacionan tanto los componentes no semióticos del campo ético-axiológico, como los componentes semióticos (lenguajes) del sistema. Finalmente, en el entorno próximo (a través de los lenguajes, como sistemas puente) se encontrarían tanto el sistema concreto ontológico (comunidades profesionales tecnológicas) como a los sistemas praxiológicos.

Con esto se caracteriza el entorno próximo del sistema ético-axiológico, considerado como sistema. Sin embargo, al identificar los componentes (C) del sistema, nos han quedado en el campo ético-axiológico un conjunto de elementos (valores, objetivos, normas) externos, que forman parte de sistemas con un nivel sistémico diferente. Son los sistemas que constituirían la sociedad, entendida como una envolvente más global, en donde se encuadra el propio sistema complejo tecnológico. Siguiendo a Bunge (2009: 59)²⁹⁴, la sociedad moderna es un supersistema constituido por sistemas de cuatro tipos: (i) bio-psíquicos, (ii) económicos, (iii) culturales y (iv) políticos.

Entonces, los elementos exógenos o externos que aparecían en el campo ético-axiológico, formarán parte de alguno de esos sistemas (de nivel $n+1$), como ocurre con el sistema económico, el sistema cultural y el sistema político, e incluso para el supersistema social, que por tanto podrán considerarse así como entorno medio (E_{med}) del sistema ético-axiológico. Por este motivo, en la representación que se muestra del sistema ético-axiológico se incluyen los diferentes sistemas de este entorno, que se ha dado en denominar ‘exoaxiológico’.

²⁹³ Utilizo la denominación ‘entorno próximo’ (E_{prox}) para referirme expresamente a los entornos respectivos de los sistemas que forman parte de sistemas complejos, y que pueden atribuirse a un mismo nivel sistémico.

²⁹⁴ Bunge, M. (2009): “Dos enfoques de la Ciencia: Sectorial y Sistémico”, *Rev. Real Acad. de Ciencias, Zaragoza*. **64**: 51-63.

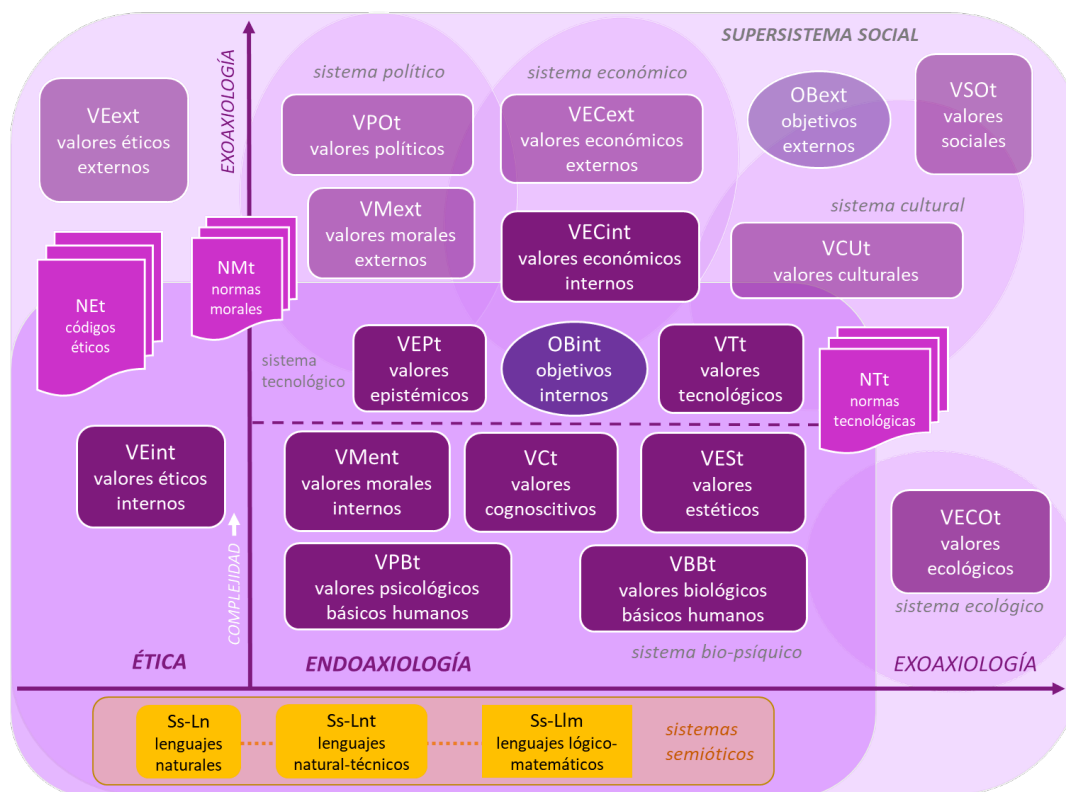


Fig. 4.2.5.e) Componentes y entorno (medio) del sistema de campo ético-axiológico de la tecnología

4.2.5.3 Sobre las relaciones (estructura) del sistema de campo ético-axiológico

Como antes, voy a considerar en primer lugar las relaciones endoestructurales, que se dan entre componentes (C-C), y posteriormente las relaciones exoestructurales, que se dan entre los componentes y el entorno (C-E). Estamos, dada la naturaleza abstracta del sistema de campo ético-axiológico, ante relaciones informativas.

Antes de nada tengo que remarcar que los componentes ‘valores’ son objetos conceptuales con menor o mayor grado de complejidad, con información pragmática valorativa o evaluativa. Los componentes ‘objetivos’ son conjuntos diseñados de valores, e incluyen además de información pragmática valorativa, información pragmática descriptiva. Finalmente, los componentes ‘normas’ serían sistemas de valores (incluyendo objetivos), y por tanto presentan no sólo información pragmática valorativa y descriptiva, sino también información pragmática práctica.

A esto se le puede añadir que, a diferencia de componentes de otros sistemas, la compleja dinámica de valores, como pone de manifiesto Mosterín (1993: 130) cuando afirma que “de un modo máximamente general, podemos hablar de valores siempre que hay tendencias polares atractivas y repulsivas, positivas y negativa”, lo que sugiere tanto una visión dinámica de los propios valores, que se manifestaría en sus interacciones, como en el aspecto cibernético y de estado de equilibrio de los sistemas, que comenta un poco antes: “los sistemas dinámicos autoregulados tienen un estado fundamental o ideal, al que siempre vuelven, después de ser perturbados.”

Así que debe atenderse a las relaciones de competencia entre componentes (valores, objetivos y normas), que tienen que ver con su compatibilidad, por ejemplo, así como otras diferentes características relacionales²⁹⁵.

Para centrar, desde la perspectiva endoestructural, entre estos componentes, se establecería, cuanto menos, una relación informativa sintáctica o estructural, de acuerdo con la denominación de Mosterín (1993). Esta información estructural como relación será más fuerte entre componentes que forman parte de un mismo campo del sistema, como pasa con los componentes (valores y normas) del espacio ético, o como pasa en los componentes del espacio del sistema bio-psíquico, como los valores morales con los valores cognoscitivos y los valores estéticos, por ejemplo. Así, se podría representar, por ejemplo, como una relación informativa estructural fuerte, la existente entre los valores morales y los valores cognoscitivos (VMOt=VCOt), mientras que una relación informativa estructural menos fuerte podría darse entre los valores económicos y los valores estéticos (VEct-VESt).

En todo caso, como se ha observado en los sistemas de campo conceptuales anteriores (epistemológico y metodológico), las relaciones endoestructurales (C-C) son de naturaleza conceptual, informativa. Y como tales, de acuerdo con los tipos de Mosterín (1993), podrán ser de información estructural o sintáctica, o de información pragmática (descriptiva, práctica o valorativa). Ya se ha señalado también cómo toda la información se remite en última instancia a operaciones materiales de comunicación entre agentes, mediadas por sistemas semióticos (lenguajes).

Por otra parte, la exoestructura del sistema de campo ético-axiológico trata de las relaciones entre componentes y entorno (C-E). Se ha señalado cómo podría distinguirse un entorno próximo, de relación más estrecha de los componentes con su entorno, lo que ocurre con el resto de los sistemas del complejo de la tecnología. Y especialmente sobre las relaciones entre los diferentes componentes con el sistema de campo metodológico y el sistema funcional praxiológico.

Siguiendo con la exoestructura del sistema, voy a contemplar las relaciones entre los componentes del sistema con los componentes de otros sistemas más débilmente acoplados al sistema ético-axiológico de una tecnología, como son los del supersistema social, los sistemas político, económico y cultural. Las relaciones más importantes que forman la exoestructura se establecen, para una misma clase, entre valores internos, como componentes propios del sistema, y valores externos. Se trata por tanto de valores que pueden formar a su vez parte de un sistema o sistemas diferentes del sistema complejo de la tecnología, como son los sistemas político, social, económico o cultural. Esto ocurriría con los valores éticos y morales, que pueden formar parte del sistema político, social o cultural; así como los valores económicos (sistema económico), valores sociales (sistema social) y valores culturales (sistema cultural).²⁹⁶

Por este motivo, en la representación que se ha elaborado del entorno (E) del sistema ético-axiológico, he incluido por una parte aquellos sistemas y he subdividido los valores componentes en internos y externos, aunque esta separación no siempre resulta evidente. Como señala González (2015: 9), las relaciones entre valores internos y valores externos “no pueden considerarse en términos de una frontera rígida o de una barrera axiológica sino más

²⁹⁵ Puede verse, por ejemplo sobre conflictos de valores, el caso presentado en Bunge (1980: 183) que pone de manifiesto la posibilidad de valores negativos.

²⁹⁶ De esto puede derivarse una decisión que he anticipado, y es que aquellos tipos de valores que puedan considerarse como componentes internos del sistema tecnológico no van a tener necesariamente una contraparte externa. Dado que la tecnología es una actividad humana transformadora intensiva en conocimiento, entre estas clases podrían contarse: los valores básicos o biológicos, los valores cognoscitivos y epistémicos, los valores tecnológicos e, incluso, los valores estéticos.

bien como una interacción entre valores en un marco de holismo de valores. Pueden considerarse como un tipo de sistema donde se da una interrelación entre ambos lados, el interno y el externo.” Esta permeabilidad en la frontera permite que un valor determinado pueda pasar de ser externo a ser interno (se internalice), o a la inversa, que se externalice, lo que se explica desde la perspectiva dinámica del sistema ético-axiológico.

4.2.5.4 Sobre la perspectiva dinámica del sistema de campo ético-axiológico

La perspectiva dinámica del sistema permite poner de manifiesto los cambios²⁹⁷ que se ponen de manifiesto como resultado de la interacción (en definitiva de los agentes a través de los sistemas semióticos) entre los propios valores, así como los objetivos y las normas, en tanto complejos de valores. En particular, a este respecto pueden destacarse las aportaciones sobre los valores en perspectiva dinámica presentadas por González (2015).

En este punto, considero de interés introducir una reflexión sobre el papel de las creencias en el sistema de campo ético-axiológico. A diferencia del sistema de campo epistemológico, e incluso del metodológico, en donde la actividad científica, técnica y metodológica produce una ‘fijación de las creencias’²⁹⁸ a partir de lo que se aceptan como contenidos científicos y tecnológicos, en el sistema de campo ético-axiológico se asiste a un espacio en donde la presencia (como creencia) en distintos valores no está –por lo general– apoyada en la actividad científica o tecnológica, sino en una determinada historia cultural y social. Aunque en el nivel que se está elucidando ahora, el de la tecnología en general en transición hacia una tecnología ingenieril, puede no tener demasiado sentido considerar el papel de las creencias, es posible que sí lo sea en los niveles subsiguientes, tanto de las tecnologías ingenieriles como de una concreta ingeniería, y más aún cuando se realicen análisis dinámicos²⁹⁹ del papel de las comunidades profesionales, muy en particular la comunidad de investigación tecnológica.

4.2.6 Procesos de la ingeniería: sistema funcional praxiológico de la ingeniería

Llegado este punto, la elucidación se centra los sistemas de acciones, como nota característica de los sistemas técnicos³⁰⁰, y por tanto de la tecnología ingenieril, que integra –convencionalmente– un conjunto determinado de sistemas técnicos. Considero que los sistemas funcionales praxiológicos son un tipo complejo de sistemas de acciones en que se ven involucrados los diferentes sistemas componentes (ontológico concreto, semióticos y conceptuales) de la tecnología ingenieril, propiciando transformaciones de tipo general, como ‘funciones vitales’ de la tecnología ingenieril: reproducción, crecimiento y cambio, producción, y supervivencia.

²⁹⁷ Como sugiere, por ejemplo Quintanilla (2005), con el caso de la sostenibilidad como valor emergente.

²⁹⁸ Como recordatorio del artículo seminal “La fijación de la creencia” de Charles S. Peirce (1877) [1998].

²⁹⁹ En este sentido, supongo que a la hora de incorporarse un nuevo valor a la comunidad profesional se ha encontrado previamente como una creencia, que según incrementa su aceptación y se formula adecuadamente llega a incorporarse como un valor. Esta posibilidad podría explorarse siguiendo las propuestas de Quintanilla (2017) sobre tecnologías entrañables.

³⁰⁰ En el análisis de sistemas técnicos específicos, como realiza Quintanilla (2020) bajo el modelo CES bungeano, presenta los conjuntos de acciones (subsistema de acciones de transformación, y subsistema de acciones de control o gestión) como estructura (S) del sistema técnico, de modo que las acciones determinan la estructura. Creo que también sería posible, en el modelo CESM de Bunge, considerar las acciones como ese mecanismo (M) o proceso característico del sistema técnico. Eso significaría que las acciones (o algunas acciones) podrían incluirse bien en la estructura o en el mecanismo, según el modelo. En el modelo que estoy presentando para la tecnología ingenieril, inspirado en el tipo CESM, los sistemas de acciones que afectan al conjunto del sistema complejo de la tecnología ingenieril, son los que denomino como ‘sistemas funcionales praxiológicos de la tecnología ingenieril’. Véase Quintanilla (2020) “The material nature of software”.

De modo tecnológicamente más preciso, estas funciones serían: i) formación de nuevos miembros de la comunidad profesional ingenieril, para la continuidad, relevo generacional y expansión de la comunidad (función ‘reproductiva’); ii) cambio tecnológico a través de la I+D+i para la creación o modificación de componentes o componentes-sistema del complejo tecnológico (función de ‘crecimiento’); iii) diseño, construcción y operación de los sistemas técnicos específicos que forman el complejo productivo característico de la ingeniería (función ‘productiva’); y iv) control y gestión de cada sistema y del conjunto del sistema complejo de la ingeniería para asegurar el cumplimiento de las funciones y sostenibilidad del sistema complejo ingenieril (función de ‘supervivencia’).

Formalmente, una de las razones más importantes para incorporar la praxiología al sistema complejo de la tecnología ingenieril es que la praxiología como tal responde de los mecanismos (M) característicos que se dan en el tecnosistema, de acuerdo con el modelo sistémico CESM de Bunge; unos mecanismos que presuponen la participación de diversos componentes de los diferentes sistemas que, a su vez, componen la tecnología ingenieril.

No obstante, a diferencia de los anteriores, en este caso el sistema que se concibe no es un sistema de campo³⁰¹, sino un sistema de tipo funcional. Se trata por tanto de un sistema más próximo a la estructura de los sistemas cognitivos (*cfr.* Laszlo, 1972) o sistemas funcionales (*cfr.* Meadows, 2008)³⁰², en donde lo que domina es la dimensión de cambio en el estado de cosas –y por tanto una dimensión temporal, dinámica– mediante la participación de agentes intencionales. Estos agentes intencionales forman parte esencial del sistema de campo ontológico concreto, y tienen un papel determinante no sólo en las relaciones del propio sistema ontológico concreto, sino también –mediante los sistemas semióticos– en los sistemas (abstractos) de campo epistemológico, metodológico, y ético-axiológico.

Así, el sistema funcional praxiológico que se propone, pretende dar cuenta de la articulación (mediante sistemas de acciones) de los procesos y operaciones característicos de una tecnología ingenieril. Las interrelaciones entre componentes responden a un sistema intencional de acciones, y por tanto a una direccionalidad relacional desde unos estados de cosas previos hacia unos estados de cosas futuros (objetivos y pretendidos). Como se observará, en la representación gráfica del modelo de este sistema funcional se utiliza un formato diferente, más lineal, del que se utiliza para representar a los sistemas de campo.

De acuerdo con Quintanilla (2005: 91) entre los elementos que debe incluir la descripción estándar u ontológica de una técnica estará: “una descripción de los agentes intencionales en términos de sus objetivos de acción, sus conocimientos operacionales y sus habilidades (...), una descripción de las acciones involucradas en términos reducibles a descripciones de cambios de estado en sistemas complejos, (...) y una descripción igualmente ‘naturalista’ de los resultados en términos de artefactos, procesos o estados terminales de los componentes materiales de la técnica”. A partir de esto se entiende que la dimensión praxiológica (en tanto referida a las acciones intencionales) pone de manifiesto la ontología material dinámica del sistema complejo de la tecnología ingenieril.

El modelo de Quintanilla atiende a cuatro conjuntos: componentes físicos, agentes intencionales, acciones involucradas y resultados. Estos conjuntos incluyen componentes y relaciones entre los mismos que pueden representarse con un modelo sistémico CES (o

³⁰¹ Los sistemas de campo que se han planteado (ontológico, epistemológico, metodológico y ético-axiológico) están asociados a una estructura del modelo CES bungeano, por lo que se privilegia en ellos la caracterización de los componentes, entorno y relaciones, bajo un modelo que podría denominarse como fundamentalmente espacial o topológico. En ellos se identifican componentes que interactúan en red y que tienen posiciones (dinámicas) sobre un campo determinado.

³⁰² Meadows, Donella H. (2008) / Wright, Diana (ed.): *Thinking in Systems. A primer*, London: Earthscan.

también con un modelo de flujo) del campo ontológico concreto. Destaca por su especial valor e implicaciones, la noción de ‘agentes intencionales’, así como la referencia a acciones y resultados, poniendo el énfasis en los sistemas de acciones intencionales que están en la base de la consideración de la tecnología como actividad.

Lo que se está haciendo al proponer un sistema funcional praxiológico es reunir, y analizar como sistema la dimensión funcional que pone de manifiesto la ontología de Quintanilla, considerando específicamente las acciones técnicas en tanto definen los sistemas técnicos. En relación con esta cuestión pueden señalarse los trabajos de Diego Lawler³⁰³, como “La mirada praxiológica sobre la técnica” (2017: 127), donde señala que “la recuperación y elaboración del marco conceptual de la praxiología (Kotarbinski, 1965; Bunge, 1985; Quintanilla, 1989) para la filosofía de la técnica está dando lugar a la elucidación de las dimensiones restantes, dado que permite aprehender las cuestiones ontológica y axiológica de la técnica desde el nivel básico de la acción humana.”

Los trabajos de Lawler van claramente en la dirección de situar la praxiología como una de las áreas más importantes para el futuro de las reflexiones filosóficas sobre la tecnología: “no se puede analizar adecuadamente la técnica sin haber construido una teoría bien fundada de la acción humana. Y no es posible lograr esto último sin contar con la praxiología para analizar y evaluar, desde los mismos valores praxiológicos (eficiencia, eficacia, productividad, etc.), los objetivos de la acción, sus resultados y las acciones mismas. Es más, la clave teórica y práctica necesaria para investigar la técnica y sus productos se obtienen si se la enfoca desde la praxiología.” (Lawler, 2017: 144). En los campos que se han tratado antes (ontológico concreto, epistemológico, metodológico y ético-axiológico) se ha empezado por atribuirles una serie de elementos característicos. Esto se ha podido hacer, en parte, gracias al reparto de los once elementos característicos de una tecnología identificados por Bunge (1985). Es claro que debido a la estructura del sistema, el sistema funcional praxiológico va a movilizar, a partir de la acción intencional del componente ‘agentes’ otros diferentes componentes de los diferentes sistemas de campo. Pero, debido a la naturaleza de este sistema funcional, lo que tiene mayor interés es poder establecer en este sistema cuáles son las funciones (mecanismos o procesos) de la tecnología ingenieril, y cómo pueden representarse esas distintas funciones.

Para dar respuesta a todas estas cuestiones se dispone, como base, de la definición de sistema técnico “*como un dispositivo complejo compuesto de entidades físicas y de agentes humanos, cuya función es transformar, de forma eficiente, algún tipo de cosas para obtener determinados resultados característicos del sistema*” (Quintanilla, 2012: 110)³⁰⁴. El autor presenta una tabla, en donde queda sugerida la estructura del conjunto, con los elementos que caracterizan a los sistemas técnicos, como puede verse en la figura adjunta. Son cuatro grupos de elementos diferenciados. Además de las entradas (*inputs*) y salidas (*outputs*), se identifican a los componentes (materiales) del sistema y los agentes, así como la estructura, que estaría definida por dos familias de acciones (de transformación y de gestión) y los objetivos pretendidos.

³⁰³ Quien realiza su tesis doctoral “Las acciones técnicas y sus valores” (2002) por la Universidad de Salamanca, bajo la dirección de Miguel Ángel Quintanilla.

³⁰⁴ Quintanilla, M.A. (2012): “Tecnología, cultura e innovación” pp. 103-136, in E. Aibar y M.A. Quintanilla (eds.) *Ciencia, tecnología y sociedad*, Madrid: CSIC-Trotta.

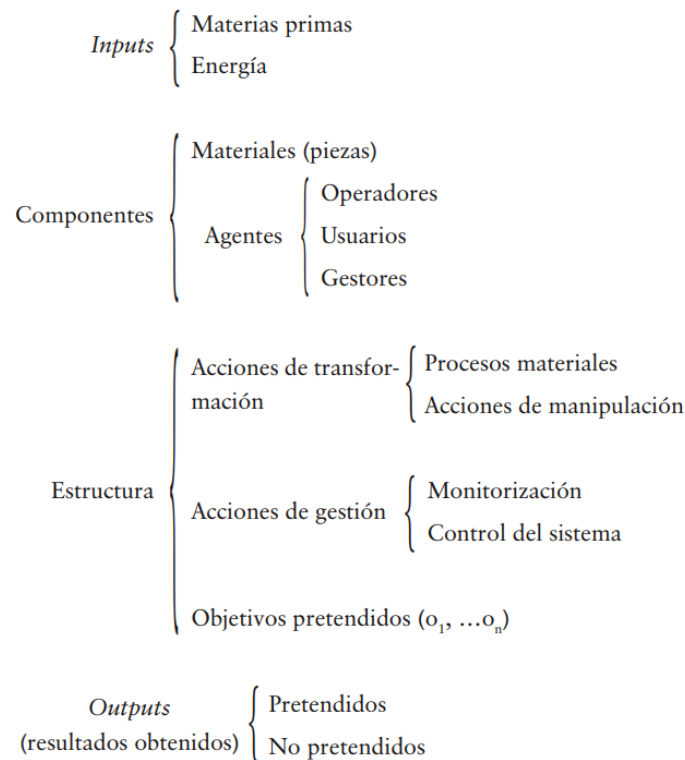


Fig. 4.2.6.a) Caracterización de los sistemas técnicos [tabla 2] (Quintanilla, 2012: 110)

En adelante, voy a utilizar este modelo de sistema técnico de Quintanilla (2012) como base para el análisis y la representación del sistema funcional praxiológico de una tecnología. De esta caracterización, los *inputs*, los componentes (materiales y agentes) y los *outputs* pueden verse como componentes del sistema (concreto) de campo ontológico. Sin embargo, la estructura puede requerir un análisis más detallado.

Así, en este modelo (*cfr.* Quintanilla, 2012) tienen particular interés las relaciones entre componentes del sistema, que definen la estructura, entre las que se distinguen dos tipos de acciones: (i) relaciones de transformación (flujos de materia y/o energía) entre las que se encuentran los procesos físicos, y las acciones de manipulación de los agentes intencionales; y (ii) las relaciones de gestión (flujos de información descriptiva y práctica) producidas entre los componentes, que permiten el control del sistema, a través de los dispositivos de monitorización y de control. Respecto a estas últimas, quiero resaltar lo que señala el autor cuando afirma que “las relaciones de gestión son también relaciones entre los componentes del sistema, pero en ellas lo que cuenta no son las transformaciones materiales que se producen entre los componentes, sino el flujo de información que permite el control y la gestión global del sistema: la actuación de los dispositivos de monitorización (que informan del estado del sistema), y de control automático (...) o manual” (Quintanilla, 2012: 110-111).

También aparecen, como una parte de la estructura, los objetivos pretendidos³⁰⁵. Sin embargo, podría plantearse en qué medida éstos pueden ser más un componente (abstracto)

³⁰⁵ La posición de los objetivos, en el modelo CES que plantea Quintanilla (2012), estarían siendo revisada por el autor. Así Quintanilla (2020, com. personal): “hoy preferiría considerar los objetivos como parte del entorno, no de la estructura. Creo que los objetivos son elementos del entorno valorados como metas de la actividad técnica.”

que una relación, incluso en el caso de que los objetivos se entendieran como una descripción de estado de cosas final a que debe orientarse el estado previo del sistema.

Se ha comentado antes que la representación de estos sistemas praxiológicos requiere un formato diferente al de los sistemas de campo (tanto concretos como abstractos) que se han tratado antes. Esto es debido a que en los sistemas praxiológicos se pretende enfatizar en el proceso, en las funciones dinámicas del sistema, más que en los componentes. Podría decirse que se prioriza una visión funcional del sistema.

Este tipo de visión sistémica funcional está considerada en Laszlo (1972), en donde a la hora de proponer sus sistemas sociales, como en el caso de otros sistemas naturales (físicos y biológicos), señala que los sistemas sociales pueden analizarse tanto desde un punto de vista morfológico o estructural del sistema, como funcional. Así, señala que “la otra manera de analizar los sistemas sociales se centra en sus *funciones dinámicas*. Aquí el conjunto de restricciones que le confieren al sistema su estructura morfológica específica están relacionados con conjuntos de factores externos, ‘inputs’ y ‘outputs’ (o perturbaciones y respuestas).” (Laszlo, 1972: 102).

Siguiendo, para este autor “la importancia teórica primaria del análisis funcional consiste en relacionar los factores externos con los factores internos. (...) Entonces, definir la función dinámica de un sistema es ofrecer una descripción que relaciona la descripción de estado con una descripción de la función input-output. Tales descripciones constituyen la variable social del análisis de cibernética de sistemas” (Laszlo, 1972: 102).

La caracterización que hace Quintanilla (2012) y su representación esquemática, ya sugiere una dirección de proceso desde arriba (*inputs*) que, mediante componentes y estructura, llega hasta abajo (*outputs*). Esto podría traducirse, de forma casi inmediata, en un diagrama de flujo muy esquemático, como el que aparece en la figura.

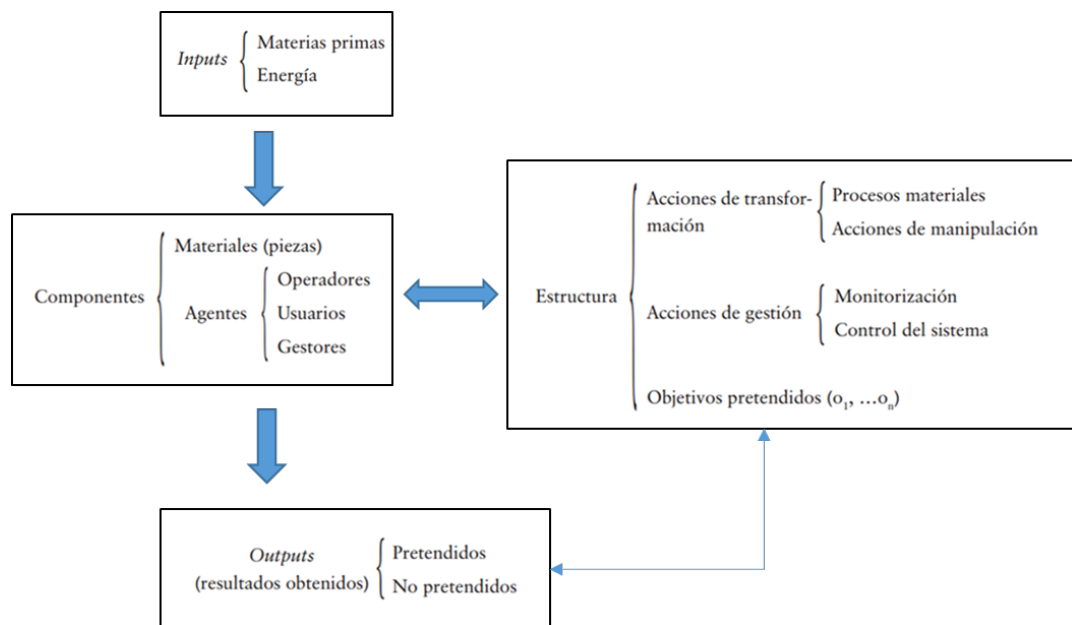


Fig. 4.2.6.b) Flujograma a partir de la caracterización de los sistemas técnicos en Quintanilla (2012: 110)

Para seguir avanzando, como bases para el esquema de representación de esos sistemas funcionales voy a utilizar diversos esquemas de representación de sistemas dinámicos. Uno de ellos es el formato empleado en Meadows (2008), como se observa en los ejemplos adjuntos, en donde se establece un flujo de entrada y un flujo de salida en relación con una variable

relevante del sistema, así como bucles de realimentación –en función de criterios de referencia– y de balance del sistema.

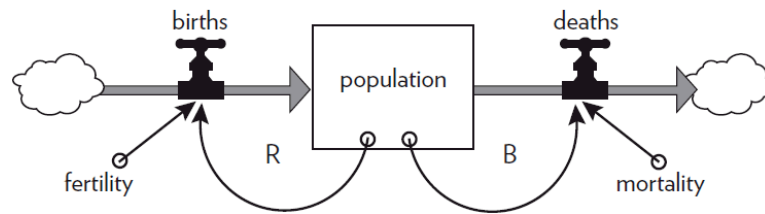


Fig. 4.2.6.c) Sistema demográfico con bucles de realimentación y balance (Meadows, 2008: 42)

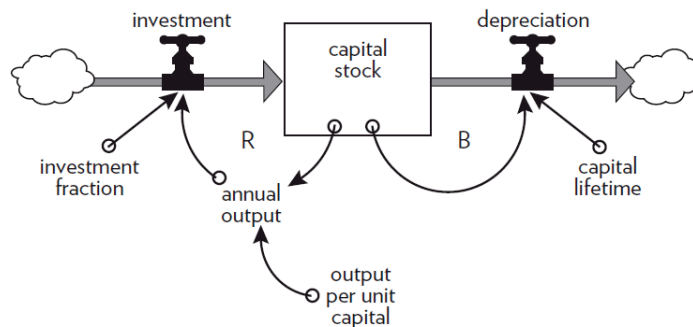


Fig. 4.2.6.d) Sistema económico con bucles de realimentación y balance (Meadows, 2008: 110)

La composición de estas figuras utiliza como elementos: unas fuentes prácticamente inagotables o sumideros (nubes) en el principio y final, unas líneas de flujo (regulado por acciones) de entrada a la ‘caja de stock’ de la variable relevante, y unas líneas de salida de flujo (regulado por acciones) de salida de la ‘caja de stock’. Se incluyen un bucle de realimentación positiva (a la línea de flujo de entrada) y un bucle de balance (al flujo de salida), que pueden incluir una variable que afecta a las acciones de regulación del flujo.

Voy a utilizar como base este formato para representar el modelo del sistema técnico (de acciones) propuesto por Quintanilla (2012), puesto que –a diferencia de los sistemas de campo que he presentado hasta el momento– este modelo refleja una direccionalidad y sentido de flujo en el sistema que representaría el cambio de estado desde su situación origen hasta el estado de cosas objetivo. Una primera representación de este sistema técnico de Quintanilla (2012) podría ser la que se ofrece en la figura adjunta.

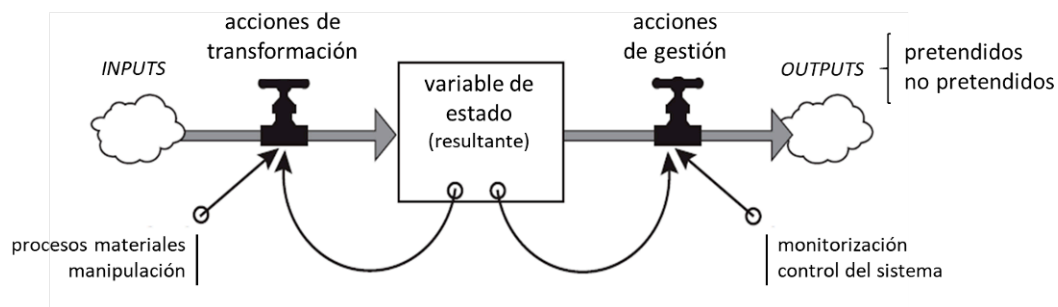


Fig. 4.2.6.e) Representación del sistema funcional praxiológico de una tecnología, a partir de la caracterización de los sistemas técnicos de Quintanilla (2012: 110)

Esta podría ser una representación esquemática del sistema praxiológico de una tecnología. Tenemos una entrada, una fase inicial de transformación que da lugar a una resultante parcial, como estado de cosas, que responde –como un bucle de balance– a la dinámica de los procesos y manipulación. Después, mediante acciones de control del sistema, el estado de cosas intermedio se llevaría hasta el punto final de estado pretendido (valor-objetivo).

Sin embargo, cuando se está hablando de flujos de información en el sistema técnico se está superando en cierta medida las restricciones impuestas a los sistemas materiales, que deben estar formados exclusivamente por componentes materiales, dado que la información presenta una dualidad material/conceptual (*cfr.* Mosterín, 1993). No parece entonces que pueda concebirse (y por tanto representarse) un sistema tecnológico sin información. De ahí que Quintanilla (2012: 114) plantee que:

Un sistema técnico está compuesto en parte por agentes humanos que actúan intencionalmente (operadores, gestores o usuarios del sistema). Para actuar en el sistema técnico, estos agentes necesitan determinada *información* que forma parte de su propia cultura, en especial:

1. Los *conocimientos, creencias o representaciones* que poseen acerca de los componentes, la estructura y el funcionamiento del sistema.
2. Las *habilidades prácticas y reglas de actuación* que son capaces de seguir para operar con el sistema, o para diseñarlo y construirlo.
3. Los *valores referidos especialmente a los objetivos y resultados* de cada una de sus acciones, así como del sistema en su conjunto y a la relación entre ambos.

Todos estos elementos culturales se pueden considerar incorporados a cada sistema técnico a través de sus operadores y constructores humanos. (...) *El conjunto de los contenidos culturales incorporados a todos los miembros de una clase de sistemas representativos de una determinada técnica constituye el contenido cultural de esa técnica en sentido estricto (cultura técnica incorporada).*

Esto supone que la representación de los sistemas tecnológicos en tanto sistemas de acciones (sistemas funcionales praxiológicos) requiere que puedan contemplarse las interacciones de flujos concretos (materia y energía), pero también de flujos no materiales –al menos no exclusivamente materiales– como son los flujos de información, de ‘cultura técnica incorporada’.

Pero si en el sistema sólo se representaran los *inputs* materiales, no podría darse cuenta ni de las acciones de naturaleza informativa, ni de los objetivos, ni de los *outputs* o resultados efectivos en relación con esa cultura incorporada. Por esta razón, en la propuesta que hago de representación general del sistema praxiológico, como sistema de acciones, se diferencian los flujos concretos (materia y energía) de los flujos de información, y se atiende también no solamente a los *inputs* materiales sino a lo que serían los flujos inmateriales informativos, como proceso de incorporación cultural. Un proceso de incorporación cultural que, en mi opinión, podría vincularse con la importante noción de ‘técnica (tecnología) disponible’ formulada por Quintanilla (2005: 109), por la que una tecnología estaría disponible para un grupo de individuos solamente si ese grupo poseen los componentes necesarios para la realización “y están capacitados (tienen los conocimientos y las habilidades necesarias para formar parte del conjunto *S* de agentes de una realización de *T*.”

Otra cuestión que resulta importante, y que se ha comentado por Quintanilla (2012; 2017) recogiendo las reflexiones de Mosterín (1993) cuando diferencia tres tipos de información pragmática (descriptiva, práctica y valorativa), es la de correlacionar los tres tipos de Mosterín con tres tipos de información (representacional, operacional y valorativa), pero con una definición más clara porque complementa al qué se refiere precisamente cada tipo de

información. Así, la representacional (descriptiva) a los estados de cosas; la operacional (práctica) a acciones como cambios de estado de cosas; y la valorativa tanto a estado de cosas como a operaciones (*cfr.* Quintanilla, 2017).

Esta diferenciación es relevante también a la hora de representar el conjunto de flujos que estructuran los componentes del sistema técnico de acciones. De ahí que en la representación general del sistema praxiológico de una tecnología vaya a tener en cuenta: (i) su estructura lineal como flujograma; (ii) la inclusión de *inputs* tanto materiales como conceptuales (información), incluyendo en este último caso el proceso de incorporación cultural que pone a disposición de una comunidad esa tecnología; (iii) la representación de relaciones (interacciones) tanto de tipo concreto (materia y energía) como de tipo abstracto (información); y (iv) la diferenciación entre tipos de relación informativa pragmática (representacional, operacional y valorativa).

Puede avanzarse que, desde una perspectiva praxiológica, se considera que las funciones más importantes de una tecnología dada son el conjunto de acciones intencionales realizadas por los agentes (como comunidad profesional ingenieril) que, en relación con artefactos complejos, permite acciones que se realizan desde el nivel institucional, como nivel más complejo del campo ontológico material. En este sentido, Broncano (2000: 143), ofrece un panorama de lo que podría ser un panorama de referencia sobre los agentes, pero especialmente sobre un conjunto de actividades relevantes que configuran la actividad tecnológica:

La tecnología [ingeniería], en resumen, supone la emergencia de un proceso de constitución y división del trabajo que nace originariamente en las técnicas artesanales y conduce al entramado contemporáneo responsable del cambio técnico: ingenieros, científicos, gerentes, usuarios. En este camino cualquier modificación en uno de los componentes afecta al todo: la educación técnica, las organizaciones de consumidores, las técnicas de producción, el entramado institucional de investigación y desarrollo.

A partir de lo expuesto, cuando nos preguntamos de nuevo cuáles son las funciones que deben cumplirse por parte de los agentes intencionales para garantizar la existencia y continuidad de una tecnología ingenieril como sistema complejo, podrían mencionarse cuatro, a saber: (i) el conjunto de procesos para la conservación y transmisión de los conocimientos, habilidades y capacidades profesionales de una tecnología dada, lo que puede expresarse en términos de continuidad y reposición de los formantes de la comunidad profesional ingenieril y del resto de las comunidades de agentes intencionales; (ii) el conjunto de procesos destinados a la invención de nuevos artefactos, así como la actualización, mejora y avance del conocimiento y prácticas ingenieriles, en lo que puede entenderse como I+D+i desde la perspectiva del cambio tecnológico ingenieril; (iii) los procesos característicos del desempeño productivo profesional (transformación de entidades para la producción de bienes y servicios) de una tecnología ingenieril dada, partiendo de la identificación de problemática, diseño de soluciones (proyecto) e implementación de soluciones adecuadas y eficientes para la resolución de la problemática; y (iv) el conjunto de procesos de administración, gestión y control, incluyendo procesos de evaluación exógena de la materia y aspectos objeto de transformación por parte de la tecnología ingenieril dada.

Estas cuatro funciones esenciales que, en mi opinión, pueden caracterizar el sistema de acciones intencionales de una tecnología como mecanismo (M) o proceso del sistema complejo de una tecnología ingenieril, se podrían denominar, respectivamente: (i) académico-docente (reproducción de capacidades tecnológicas ingenieriles a individuos que pasan a

formar la comunidad profesional ingenieril); (ii) cambio tecnológico ingenieril como resultado de las acciones de invención e innovación ingenieril; (ii) producción ingenieril, en su fase de diseño (proyecto ingenieril) y de la producción material (productos); y (iv) gestión (administración, control y evaluación) tecnológica ingenieril. Eventualmente, podría proponerse una quinta función, como sería una filosofía tecnológica ingenieril o metaingeniería³⁰⁶.

Al considerar la praxiología desde un enfoque sistémico, como sistema funcional praxiológico, se está provocando el que haya una reflexión más profunda y sistemática sobre esta disciplina, así como su articulación en relación con los procesos de alto nivel característicos de las tecnologías, y muy especialmente de las tecnologías ingenieriles³⁰⁷. Además, la conexión sistémica de la praxiología con la ontología, con la semiótica, con la epistemología, con la metodología y con la ética-axiología, con las que se encuentra fuertemente acoplada, puede eventualmente permitir una más integrada y completa investigación filosófica de las actividades tecnológicas.

A la hora de elucidar mediante representación, por así decirlo, los sistemas de campo, ya se ha advertido la dificultad de la tarea, dado que no se dispone prácticamente de antecedentes de representación. En todo caso, las representaciones de sistemas de campo (en modelo CES) pueden considerarse de una cierta sencillez, puesto que muestran un aspecto estructural, estático. Tampoco los sistemas funcionales praxiológicos disponen –en lo que se ha podido conocer– de representaciones, exceptuando los diagramas de flujo de Meadows. A esta dificultad se le suma el hecho de que los sistemas funcionales praxiológicos, en tanto sistemas de acciones, tienen que dar cuenta de procesos secuenciales. Pero además hay que tener presente un enfoque dinámico (cronológico) que pueda dar cuenta de la historicidad de los sistemas praxiológicos de la tecnología ingenieril.

Por este motivo, partiendo de la representación en ‘formato Meadows’ de la estructura de la caracterización tecnológica de Quintanilla (2012), y teniendo en cuenta las reflexiones sobre dicha estructura, voy a proceder representar gráficamente un modelo general de un sistema funcional praxiológico de una ingeniería.

Como se observa, en el modelo propuesto hay una zonificación en la vertical y otra en la horizontal. Respecto a la organización en la vertical, en la parte superior (color azul) se representa el conjunto de componentes e interacciones predominantemente conceptuales: sistema epistemológico (*SEPTi*), sistema metodológico (*SMEti*), sistema ético-axiológico (*SEAti*)³⁰⁸. En la parte inferior (color beige) predominan los componentes e interacciones materiales: sistema ontológico material (*SONti*). Entre ambas capas he situado, necesariamente, a elementos relevantes de la agencia humana (comunidad profesional ingenieril y complejo institucional ingenieril) y los lenguajes (natural y formal) que como sistemas semióticos (puente concreto-abstracto), que permiten las interacciones (mediadas por la agencia humana) entre la capa más conceptual y la capa más material.

³⁰⁶ Esta quinta función praxiológica de la ingeniería (filosofía ingenieril o metaingeniería) sería precisamente una actividad del tipo de la que se realiza en este trabajo de investigación.

³⁰⁷ Considero como procesos de alto nivel los característicos del ciclo completo de la actividad ingenieril (como ejemplo de una actividad tecnológica), en donde se contarían: la educación y formación; la investigación y desarrollo e innovación; el desarrollo de la actividad profesional (proyecto, construcción y explotación, para el caso de la ingeniería civil); así como la gestión y evaluación del conjunto del sistema.

³⁰⁸ A su vez, cada uno de estos sistemas (ej. *SEPTi*) puede estar precedido del identificador de componentes (C), que voy a representar como *C_SEPTi*, y de la misma forma para la estructura (S) que identifico como *S_SEPTi*. Puede así observarse que –en principio– en la representación de los sistemas praxiológicos no voy a incluir elementos del entorno, puesto que todos aquellos que tienen una participación relevantes serían componentes.

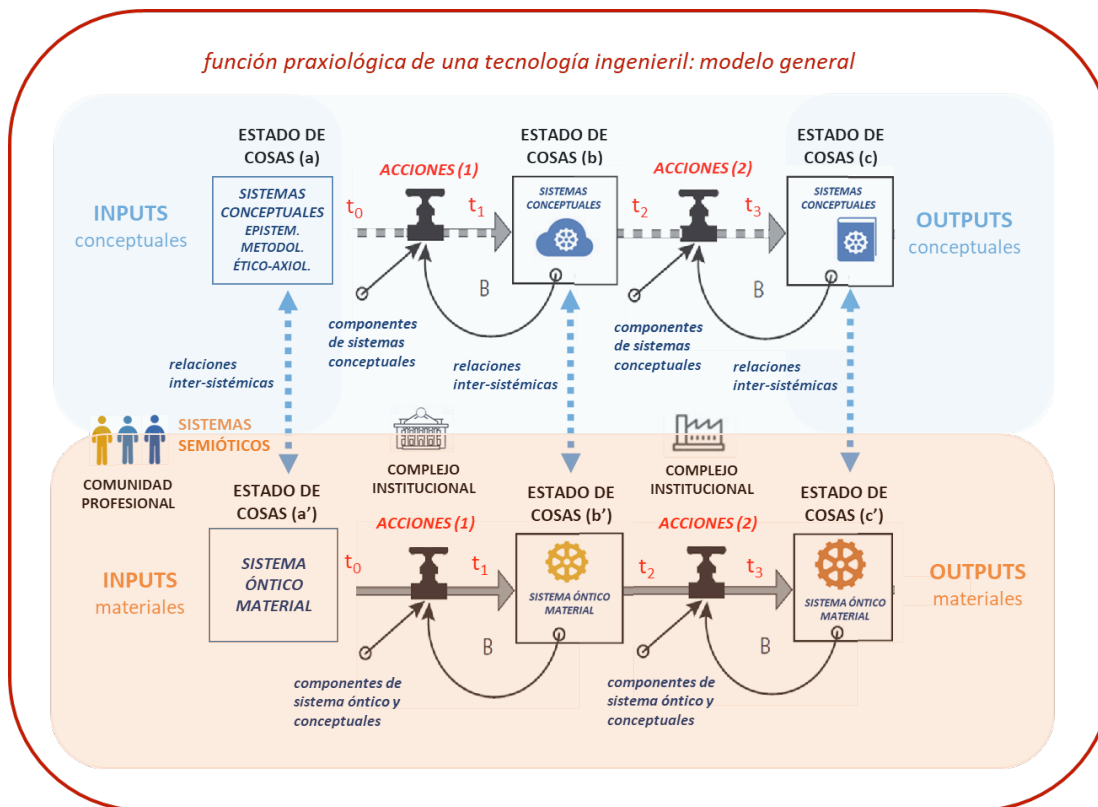


Fig. 4.2.6.g) Sistema funcional praxiológico de una tecnología ingenieril: modelo general

En la distribución horizontal, siga –de izquierda a derecha– el proceso general que llevaría desde los *inputs*, como estado de cosas inicial, pasando por un estado de cosas intermedio, hasta los *outputs* como estado de cosas final. Entre los estados de cosas incluyo (como ejemplo) dos conjuntos de acciones intermedias. Entre la línea de proceso de la capa conceptual y la de la capa material se establecen unas interrelaciones de información (en línea discontinua) entre los sistemas óptico material (*SONti*) y los sistemas conceptuales (epistémico, metodológico y ético-axiológico).

Las acciones se realizan (típicamente por la comunidad profesional ingenieril, *COPTi*) a partir de un estado de cosas y un determinado momento (t_n), estando orientadas por componentes de los sistemas conceptuales epistémico, metodológico y ético-axiológico. Entre cada acción y el resultado subsiguiente (estado de cosas) se establece un bucle (B) de balance³⁰⁹ mediante realimentación, de bucles y controles informacionales –que daría cuenta del carácter genéricamente no lineal de las funciones praxiológicas–, para llevar a un cierto estado de cosas predefinido (ya intermedio o final, como *output*).

4.2.7 Historia e historicidad del sistema complejo de la tecnología ingenieril

La progresión elucidatoria del enfoque sistémico puede aconsejar, de acuerdo con Bunge [1979] (2012: 34) “el conocimiento de los siguientes elementos: (a) la composición, el entorno y la estructura del sistema [y los mecanismos o procesos]; (b) la historia del sistema (en particular si se trata de un biosistema o un sociosistema); y (c) las leyes del sistema.”

³⁰⁹ Esto responde a la idea de los mecanismos (bucles y controles informacionales) de control humano, pero más aún a la de los mecanismos de autocontrol y sistemas cibernéticos, que permiten componer estratos progresivamente crecientes de complejidad (cfr. Broncano, 2005: 104-106). Véase Broncano (2005) “La agencia técnica”, *Revista CTS*, nº 5, vol. 2, junio.

Según Bunge, con estos conocimientos se alcanzaría un completo conocimiento del sistema, aunque advierte de la dificultad de tal empresa, especialmente en referencia a sistemas complejos.

Hasta el momento, esta propuesta de modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistémica de tecnologías ingenieriles incluye descripciones y representaciones referidas tanto al supersistema socio-tecnológico ingenieril, como a cada uno de los sistemas componentes: sistema óntico material, sistemas semióticos (material-conceptual), sistemas conceptuales (epistémico, metodológico y ético-axiológico) y sistemas funcionales praxiológicos. Para cada uno de los diferentes sistemas ya se han tenido en cuenta sus componentes (C), su entorno (E) y su estructura (S), incluyendo eventualmente los mecanismos o procesos de varios de estos sistemas. También se han considerado, como sistemas funcionales praxiológicos, los mecanismos (M) del sistema complejo ingenieril.

Sin embargo, todavía no se ha hecho ninguna referencia expresa a la historia de los sistemas componentes o del sistema complejo ingenieril. Solamente en los sistemas funcionales praxiológicos se tiene en cuenta la temporalidad (de corto plazo), cuando se incluye la variable tiempo (t) para situar cronológicamente cambios de estado de cosas que resultan de acciones intencionales.

Pero se entiende que, a pesar de las dificultades advertidas por Bunge, no puede obviarse que la tecnología, y la ingeniería en particular, tienen tal relevancia histórica que obliga a intentar continuar la ruta elucidatoria sistemista en la dimensión temporal de estas actividades humanas, y por tanto de los sistemas que dan cuenta de las mismas.

Este interés, orientado a los sociosistemas, ya lo plantea Bunge [1979](2012: 311) cuando afirma que “un enfoque sistémico de la historia social alienta el estudio de la evolución de sistemas propiamente dichos en lugar del estudio de unidades artificiales”. Ahí ya puede encontrarse un método³¹⁰ de análisis de la historia de los sistemas, aplicado a los sociosistemas dentro del marco de reflexiones sobre el cambio social. Este método parte de un sistema social (una sociedad, por ejemplo), identificado como una matriz de celdas, donde la historia de cada celda se define como una secuencia temporal de cambios en la celda. A partir de la matriz de celdas (con su historia) se pasa a la historia social (o anónima) compuesta por todas las historias de las celdas sociales. De esta forma se propone describir y explicar la evolución de las celdas y las sociedades, así como los supersistemas que forman las sociedades (*cfr.* Bunge, 1979/2012: 311).

Previamente, este autor señala los principales tipos de cambio estructural en la sociedad como sistema, en la medida en que a lo largo del tiempo se modifican sus elementos: (i) se mantiene estacionaria (o en estado de equilibrio estático); (ii) estable (en estado de equilibrio dinámico); (iii) experimenta cambios cíclicos (si existe un operador de evolución); (iv) experimenta un cambio irreversible; (v) experimenta una revolución parcial; y (vi) experimenta una revolución total (*cfr.* Bunge, 1979/2012: 308). Todas estas serían posibles descripciones de la dinámica de sistemas sociales, pero esto permite suponer que también podrían serlo de sistemas sociotécnicos o sistemas técnicos.³¹¹

³¹⁰ En el texto, la propuesta de Bunge se presenta parcialmente formalizadas, especialmente en la composición matricial de la sociedad y en la historia de la matriz de celdas.

³¹¹ Es posible plantearse si los sistemas técnicos pueden ser ‘exclusivamente’ técnicos o si, a partir de una cierta complejidad (prácticamente para todos los casos en que podemos hablar no ya de técnica sino de tecnología, en tanto técnica fundada en ciencia y con relevancia económica) se trataría de sistemas socio-técnicos. Creo que este sería el caso más frecuente, por lo que podría hablarse preferiblemente, tal vez, de sistemas socio-tecnológicos. Esto puede fundamentarse precisamente en la historicidad de los sistemas tecnológicos. Puesto que es razonable suponer que los más primitivos sistemas técnicos (como artefactos materiales muy sencillos, e incluso como sistemas semióticos) han precedido a los sistemas sociales de una cierta

Como puede observarse a partir de lo anterior, Bunge estaría hablando –aunque no lo explicita– de dos formas diferentes de contemplar el fenómeno histórico. La primera, donde se habla de la temporalidad como una referencia cronológica que permite describir cambios históricos (temporales) tanto en las celdas, como en la sociedad en tanto conjunto de ‘historias de celdas’. Esta es una visión histórica, puesto que describe series temporales (cronológicas) de componentes. Sin embargo, cuando habla de los tipos de cambio estructural, está mostrando un interés por la idea de cambio, lo que supone ir más allá de la temporalidad de los hechos o de las cosas, hacia un análisis y comprensión de la historicidad –como una reflexión de segundo orden sobre la historia– de los sistemas. De esto se deriva la necesidad de contemplar, para el sistema complejo de acciones humanas que es la ingeniería, tanto su historia como su historicidad.

Ya a partir de los años sesenta del siglo XX, el ‘giro histórico’ en la filosofía de la ciencia, con su énfasis en la idea de la ciencia como actividad humana, lleva a considerar la historicidad tanto como constituyente interno cuanto como factor externo de la ciencia (*cfr.* González, 2005: 14).

Desde la filosofía actual de la ciencia y la tecnología, entre las aportaciones más relevantes sobre la noción de historicidad, se encuentran las de W. González en: *Acción e Historia. El objeto de la historia y la teoría de la acción* (ed.) (1996); “Caracterización del objeto de la Ciencia de la Historia y bases de su configuración metodológica” (1996); “Conceptual changes and scientific diversity: The role of historicity” (2011); y *Philosophico-Methodological Analysis of Prediction and its Role in Economics* (2015).

Así, la historicidad se convierte en un aspecto relevante para la filosofía de la ingeniería, tanto al considerarla como actividad humana como al hacerlo como un sistema complejo. Respecto a la primera consideración, como señala González (2015: 222) “la actividad [humana] tiene en sí misma *historicidad*: la actividad humana es *eo ipso* histórica, no sólo en el sentido de *tener* tiempo, sino también en un sentido más profundo de ocurrir y desarrollarse precisamente *con* el tiempo.” Respecto a la segunda consideración, de la ingeniería como sistema complejo, también servirán las afirmaciones de González (2015: 310): “Las dinámicas de sistemas complejos como la economía pueden verse en términos de ‘historicidad’. Este es el caso en la medida en que la economía y otros sistemas complejos tienen discontinuidades en sus cambios (incluyendo catástrofes).”

Para concluir, pueden mencionarse las reflexiones que hace González (2015: 25) sobre la historicidad en las ciencias (y en diversos niveles de las ciencias): “La historicidad no es incompatible con la objetividad. Más aún, la realidad humana y la actividad científica son históricas de una manera objetiva. Cada uno de los elementos constitutivos de la ciencia (lenguaje, estructura, conocimiento, método, actividad, valores...) es *histórico* en la medida que puede sufrir cambios que modifiquen su estatus a lo largo del tiempo. Una cuestión clave es cómo armonizar la historicidad y la objetividad en cualquier ciencia, incluyendo las matemáticas, así como en los diversos niveles de la ciencia (al menos en los niveles semántico, epistemológico, metodológico y ontológico.”

De lo anterior puede exponerse el interés por considerar la dimensión histórica en la filosofía sistémica de la ingeniería. Por una parte, mediante el estudio de la historia (temporalidad) de los componentes de los sistemas, de los sistemas, y del total del sistema

complejidad. Y de esto derivar que los sistemas tecnológicos han precisado de sistemas sociales bien desarrollados (también a través de sus subsistemas, como sería el cultural –a partir de las manifestaciones científicas modernas–, el económico y el político). De modo que podría sostenerse que los sistemas tecnológicos son, por su génesis, sociosistemas especializados, y por tanto, bien podría valer para el caso la denominación de ‘sistemas socio-tecnológicos’.

complejo de la ingeniería. Y, por otra parte, mediante el análisis de la historicidad (cambio *con* el tiempo) de cada uno de los sistemas (óptico, semióticos, epistemológico, metodológico, ético-axiológico y praxiológicos) y del conjunto del sistema complejo de la ingeniería. Para este análisis se hacen relevantes tipos de cambio estructural como los señalados por Bunge [1979](2012: 308), que ponen de manifiesto la dinámica de los sistemas complejos (*cfr.* González , 2015: 310). Creo que en este modelo de elucidación filosófica sistemista, adquiere también un gran interés la posibilidad de analizar importantes aspectos de los sistemas, como la complejidad intrasistémica, el cambio cualitativo o –muy especialmente– la emergencia sistémica (*cfr.* Bunge, 2004), que en mi opinión estarían claramente relacionados con la historicidad de los sistemas.

Aunque se verá en el posterior desarrollo del modelo, no puede concluirse este apartado sin recordar que el cambio tecnológico ingenieril puede considerarse como uno de los motores (si no el motor) fundamentales de la actividad ingenieril, lo que se pone de manifiesto con el sistema funcional praxiológico de cambio ingenieril (*SPRA-Cti*).

5 MODELO BUNGE-QUINTANILLA DE ELUCIDACIÓN SISTÉMICA: INGENIERÍA COMO *EXPLICATUM*

A partir de todo lo expuesto anteriormente, puede procederse a elaborar una expresión más detallada, como *explicatum*, de un ‘modelo Bunge-Quintanilla’ de elucidación filosófica sistemista, aplicado a tecnologías ingenieriles o ingeniería. Este resultado se deriva del avance en la transformación de los elementos componentes de los sistemas de campo de las tecnologías ingenieriles en: componentes (C), entorno (E), estructura (S) de los diferentes sistemas (material, mixto y conceptuales), así como del mecanismo (M) general que representan los sistemas funcionales praxiológicos de la filosofía de la tecnología ingenieril. Finalmente, se ha incorporado la dimensión histórica (H) del sistema complejo de la ingeniería.

Entiendo la ingeniería como un sistema complejo socio-tecnológico, de un conjunto de sistemas técnicos característicos, como sistemas de acciones humanas [sistema funcional praxiológico] intencionalmente diseñadas [sistemas semióticos y metodológico] con bases científicas [sistema epistémico] orientadas a la transformación [sistema funcional praxiológico] de un determinado [sistema epistémico y metodológico] estado de cosas [sistema ontológico material] de forma eficiente [sistema metodológico, axiológico y ético] para la consecución de algunos resultados que se consideran valiosos [sistemas axiológico y ético].

De acuerdo con el modelo general bungeano de sistemas CESM (componentes, entorno, estructura y mecanismos), un modelo (μ) de elucidación filosófica sistemista Bunge-Quintanilla del sistema complejo ingenieril (S^2ING), en un momento t dado, podría representarse (como *explicatum*) por la siguiente cuaterna:

$$\mu (S^2ING)t = \langle C(S^2ING), E(S^2ING), S(S^2ING), M(S^2ING) \rangle$$

donde,

$C(S^2ING)$ o C_S^2ING : componentes-sistema del sistema complejo ingenieril, entre los que se encuentran el sistema óptico material ($SONti$)³¹²; los sistemas semióticos, tanto lingüísticos, agrupados como lenguajes naturales ($SLNti$) y lenguajes formales ($SLFti$), como gráficos ($SGti$); además de los sistemas conceptuales epistémico ($SEPt$), metodológico ($SMEti$), axiológico ($SAXti$) y ético ($SETti$);

$E(S^2ING)$ o E_S^2ING : entorno del sistema complejo ingenieril, destacando el supersistema social (S^2SOC) que integra el sistema político ($SOCpol$), económico ($SOCeco$) y el cultural ($SOCcul$), así como el supersistema ecológico (S^2ECOL);

$S(S^2ING)$ o S_S^2ING : estructura del sistema complejo ingenieril, donde se dan relaciones mediante flujos (materia, energía, información) entre los sistemas componentes (endoestructura) y de los sistemas componentes con su entorno (exoestructura);

$M(S^2ING)$ o M_S^2ING : mecanismos del sistema complejo ingenieril o colección de procesos característicos, representados por los sistemas funcionales praxiológicos

³¹² Utilizo ‘ti’ como abreviatura de ‘tecnologías ingenieriles’, equivalente a ingeniería, al final de las denominaciones de sistemas, subsistemas o componentes, así $SONti$, $SLNti$...

(*SPRAti*), entre los que se identifican el académico-docente (*SPRA-Ati*), de cambio ingenieril (*SPRA-Cti*), de producción (*SPRA-Pti*) y de gestión y control (*SPRA-Gti*) del sistema complejo ingenieril.

Así, el modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería que desarrollo contempla cuatro grupos de sistemas por completo interrelacionados, donde los tres primeros grupos son los componentes-sistema (C) del sistema complejo ingenieril: (i) el mundo material de la ingeniería, en donde aparece el sistema óntico material ingenieril, que incorpora como elemento esencial a las comunidades profesionales ingenieriles; (ii) el puente (semiótico) entre el mundo material y la cultura ingenieril, en el que he incluido los lenguajes y sistemas gráficos empleados en la ingeniería, por las comunidades profesionales ingenieriles, en tanto sistemas puente material-conceptual; y (iii) la cultura inmaterial ingenieril, en donde aparecen los cuatro sistemas conceptuales (epistémico, metodológico, axiológico y ético) de la ingeniería. En la representación los distintos sistemas aparecen sobre lo que sería la naturaleza del fondo dominante (concreto o material, y conceptual o abstracto), donde los sistemas semióticos son los sistemas puente (concreto-abstracto).

Siguiendo el modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista, para cada uno de estos componentes-sistema elucidaré –de acuerdo con el modelo bungeano simplificado CES– sus componentes (C), su entorno (E) y su estructura. En todo caso, el sistema óntico material ingenieril (*SONti*) es objeto de un detallado estudio, por lo que me ha permitido identificar cuatro subsistemas relevantes: la agencia humana individual y de comunidades (*AHCTi*); el subsistema artefáctico (*ARTti*) según la lógica de producción recurso-artefacto-producto; el complejo institucional (*CINTi*); y los componentes que forman lo que denomino toposistema (*TOPTi*).

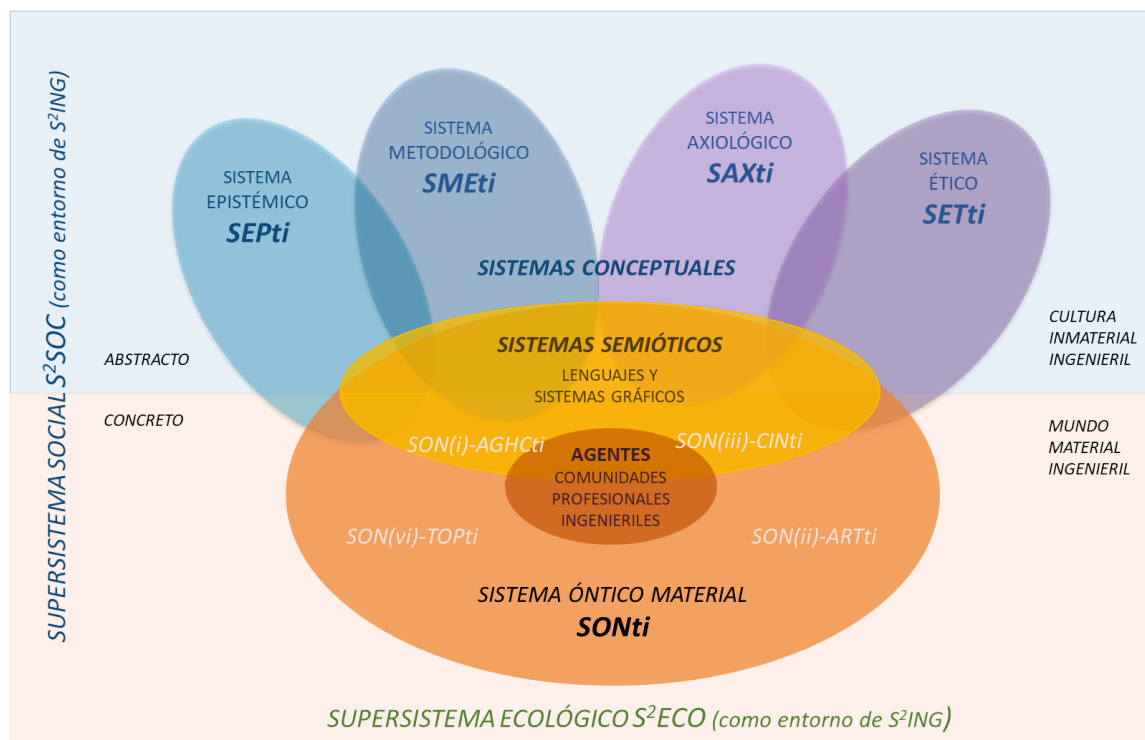


Fig. 5.a) Modelo B-Q: componentes-sistema (C) y elementos CES del sistema complejo ingenieril (S^2ING)

El cuarto grupo de sistemas (ahora de tipo funcional, como se ha mostrado antes) está formado por los mecanismos (M) característicos del sistema complejo ingenieril, esto es, la práctica ingenieril (como una estructura de tipo *inputs-outputs*), en donde se representan los cuatro sistemas funcionales praxiológicos (docente, de cambio, de producción y de gestión) de la ingeniería. Como se verá más adelante, los sistemas funcionales praxiológicos pueden representarse, con una alta generalización, del modo en que se hace en la figura adjunta. Como para el caso de los componentes-sistema (C), también en esta representación se diferencian dos campos (concreto y abstracto) de acuerdo a la presencia dominante de los elementos (componentes, estructura, acciones) correspondientes. Esta distinción es relevante también para articular un sistema funcional praxiológico puesto que, dado que es el mecanismo (M) o colección de procesos del sistema complejo, debe poder interrelacionar – mediante acciones de agentes intencionales– potencialmente a todos y cada uno de los componente-sistema (C).

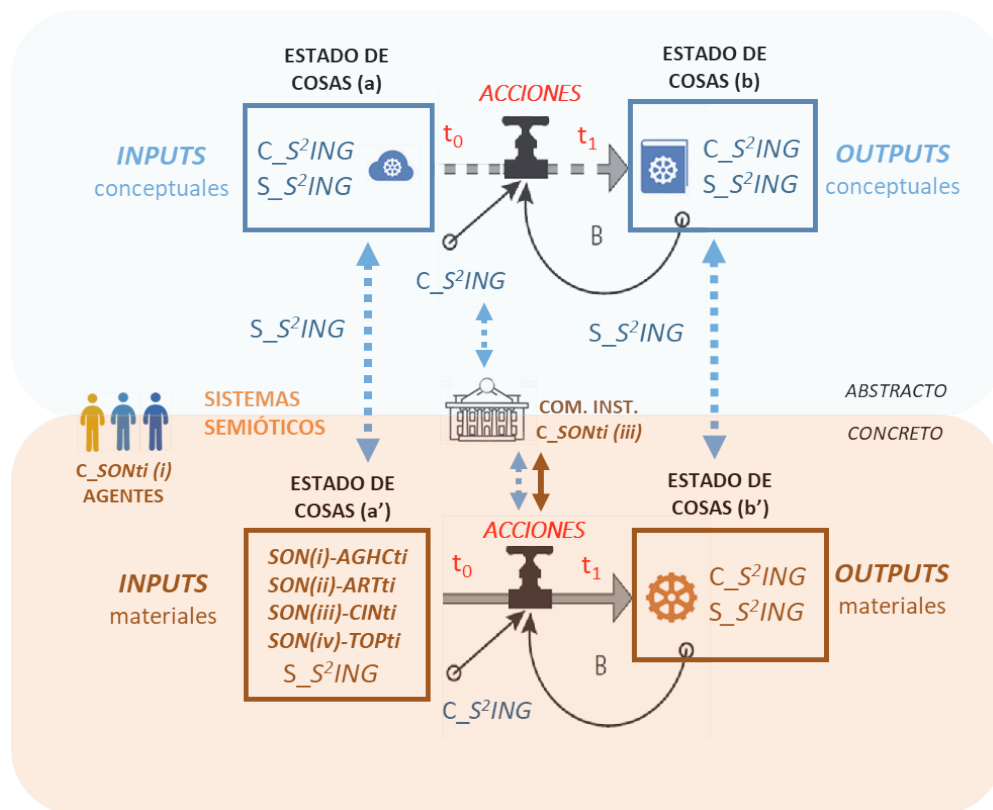


Fig. 5.b) Modelo B-Q: mecanismo (M), sistema funcional praxiológico de sistema complejo ingenieril (S^2ING)

Finalmente, he incluido en este capítulo una serie de reflexiones que entiendo pertinentes, sobre historia e historicidad de los sistemas componentes, así como del conjunto del sistema complejo ingenieril, lo que permite reintegrar una visión de conjunto del sistema complejo de la ingeniería (S^2ING).

5.1 MUNDO MATERIAL DE LA INGENIERÍA: SISTEMA ÓNTICO MATERIAL INGENIERIL

Aunque sólo se identifica un único sistema óntico³¹³ material de la ingeniería, a efectos de desarrollo y por su importancia, he optado por dividirlo en cuatro áreas (que voy a contemplar como subsistemas), lo que me permite ir desplegando una propuesta detallada de sistema óntico material de la ingeniería. En la primera (i) de ellas voy a centrarme en los seres humanos en tanto agencia humana, a través de sus distintos niveles de complejidad óntica. En la segunda (ii) voy a elucidar detalladamente sobre el dominio de los objetos artificiales y artefactos, siguiendo la lógica ingenieril recurso-artefacto-producto (R-A-P), en sus distintos niveles de complejidad. El siguiente (iii) trata sobre los complejos institucionales, en tanto componentes complejos (socio-técnicos) que resultan de la agregación de componentes de la agencia humana y componentes artefactuales. El cuarto (iv) de los subsistemas, que denomino ‘subsistema tópico’ o ‘topo-subsistema’, reúne aquellos componentes materiales que no estando incluidos en ninguno de los anteriores, son necesarios para dar cuenta de sistemas (como el ingenieril) que no pueden ser estudiados sin su entorno, ya que algunos elementos que podrían considerarse como de entorno (población y territorio), deberían tratarse como componentes. Estos cuatro subsistemas se representan de forma sencilla atendiendo a sus relaciones y también respecto al nivel de complejidad óntica que abarcan.

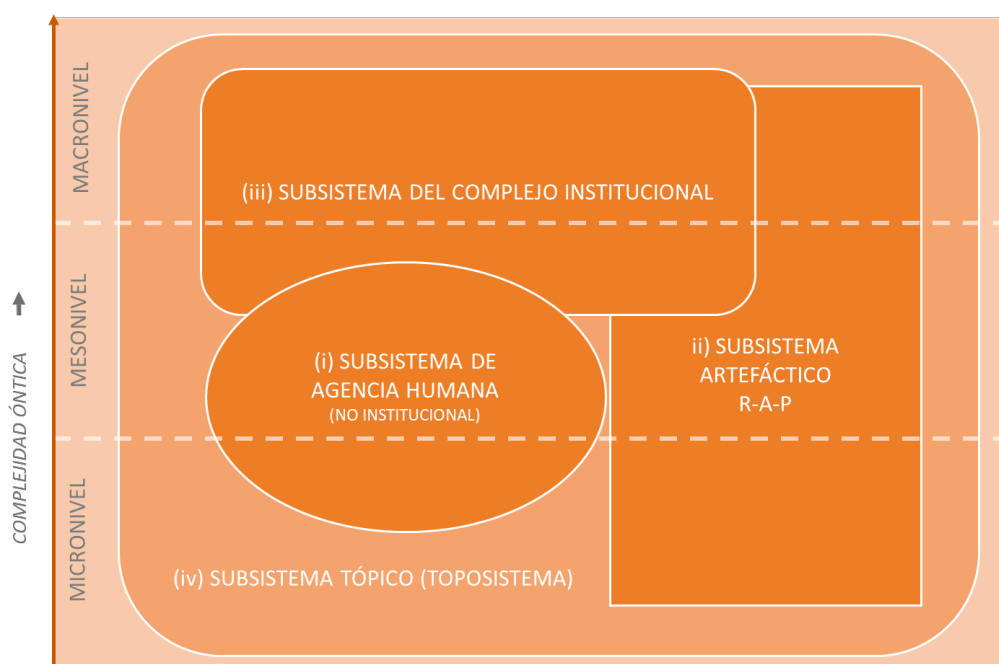


Fig. 5.1.a) Distribución de subsistemas del sistema óntico material de una ingeniería (SONti)

En esta representación integrada se pone de manifiesto la heterogeneidad ontológica del mundo (material) de la ingeniería³¹⁴. Pero con ella también se pretende poner de manifiesto unas posibles pautas organizativas: con dos ejes principales, el de los seres humanos y

³¹³ Hasta este capítulo lo he venido denominando sistema ontológico, aunque a partir de aquí lo haré como ‘sistema óntico’. Esta denominación se apoya también en la forma en que Falguera (2011: 42-43) entiende estas dos expresiones: “la primera –*ontológica*– es relativa a las expresiones de una lengua natural o lenguaje artificial (incluidos los formales con contenidos establecidos), es decir, trata de lo que se dice que hay mediante una lengua o lenguaje; mientras que la segunda –*óntica*– depende de lo que realmente haya en el-mundo-con-soporte-físico, en sus (posibles) diferentes niveles de complejidad.”

³¹⁴ Cfr. Cuevas (2005).

complejo institucional, y el de los artefactos como objetos artificiales; y en la división vertical, con tres bandas de complejidad óptica creciente (micro, meso y macro). Esto se hace compatible con que, más adelante, para los artefactos vaya a sugerir hasta cinco niveles ónticos, que también correlacionan con las tres bandas³¹⁵. Algo semejante ocurre con el subsistema óntico del complejo institucional.

Como los componentes del sistema óntico van a estudiarse detalladamente a través de cuatro subsistemas, y dado que la identificación completa del sistema requiere a su vez la identificación de componentes (C), de entorno (E) y de sus relaciones (S), voy a anticipar unas observaciones generales sobre el entorno y relaciones de los componentes del sistema óntico material ingenieril.

De acuerdo con el modelo sistémico bungeano CES, una vez identificados los componentes (C) del sistema, procede señalar el entorno o entornos, tanto de los componentes como del sistema en su conjunto. El entorno (E) se define como aquellos componentes de otros sistemas o sistemas que tienen una relación con los componentes (C) del sistema que se considera, pero que es una relación más débil que la que mantienen entre sí los componentes (C) del propio sistema. Situar entonces en el sistema o en el entorno a un componente es fruto de una decisión dentro de una escala gradual de intensidad de relación. Pero también un entorno es el del sistema correspondiente, en un orden de magnitud mayor (y, generalmente, de complejidad también) respecto a los componentes que se estén analizando.

Así, el entorno de la agencia humana, y muy especialmente de las comunidades profesionales ingenieriles, sería la sociedad, que ya es identificada explícitamente como entorno de la tecnología en Bunge (1979). Utilizando la ‘sociedad’ en tanto elemento identificado por Bunge, se entiende a su vez la sociedad como un supersistema³¹⁶, como espacio de contacto de tres subsistemas: económico, político y cultural. Estos sistemas también constituyen el entorno del conjunto de componentes del complejo institucional.

Como entorno de los artefactos y sistemas artefacticos pueden señalarse especialmente los sistemas cultural y económico, así como también el sistema ecológico (como proveedor inicial de energía y materias primas de procesos tecnológicos). Siguiendo esta última línea, las entidades reales naturales (tanto bióticas como abióticas), estarían relacionadas, como entorno, con el sistema ecológico o ecosistema.

También formarían parte del entorno los otros sistemas del sistema complejo ingenieril acoplados con el sistema óntico material, vinculados mediante componentes puente (sistemas semióticos) y por los sistemas funcionales praxiológicos, como son los sistemas conceptuales (epistémico, metodológico, axiológico y ético).

³¹⁵ Esa estructura triple (junto con la de cinco niveles ónticos de artefactos) puede relacionarse, en cierto modo, con el modelo de los tres entornos que puede verse en Echeverría (1994): *Telépolis*, o Echeverría (1998), entre otros trabajos. Podría sugerirse, provisionalmente, una correlación. Que por ejemplo artefactos como útiles, herramientas y máquinas sencillas (nivel óntico 1) se entiendan como propias del primer entorno (ambiente natural del ser humano); mientras que artefactos más complejos (nivel óntico 2 y 3) fueran artefactos del segundo entorno (entorno urbano, social y cultural). Siguiendo esta correlación, los niveles ónticos más complejos (4 y 5) podrían considerarse como artefactos (sistemas artefacticos) característicos del tercer entorno (nuevo espacio social, artificial, tecnológico, en construcción) de Echeverría.

³¹⁶ El término ‘supersistema’ que Bunge aplica frecuentemente al sistema social pretende resaltar que se trata de un sistema complejo formado a su vez por sistemas complejos (político, económico y cultural), de modo que facilita la visión de la estructura jerárquica de relaciones intersistémicas. Algo semejante ocurre con el supersistema ecológico. Por este motivo entiendo que, a la hora de relacionar estos sistemas de nivel alto de complejidad con el sistema complejo de la tecnología ingenieril, puede ser interesante referirme a ellos (sistema social y sistema ecológico) directamente como supersistemas.

Sobre las relaciones (estructura, S) del sistema óptico material de la ingeniería, puede comentarse que en el sistema óptico material de una ingeniería pueden encontrarse relaciones que implican intercambios potenciales de: materia, energía e información. Los dos primeros son dominantes en el subsistema (ii) artefáctico, lo que los hace característicos de la estructura relacional del ‘mundo material’ de la ingeniería que se esté considerando.

Al tratar sobre las relaciones de información en este sistema voy a tener presentes en un primer momento los tipos de información mencionados por Mosterín (1993) y que Quintanilla (2012, 2017) considera en sus trabajos sobre innovación y cultura tecnológica.

De nuevo, se hace la observación de que la estructura completa del sistema se define (*cfr.* Bunge, 2002) a partir, por una parte, de la endoestructura (relaciones entre componentes) y de la exoestructura (relaciones componentes-entorno).

La endoestructura del sistema óptico ingenieril, como conjunto de relaciones entre componentes (C-C), puede analizarse en tres bloques. En primer lugar, por las relaciones entre los componentes humanos del sistema óptico, que son fundamentalmente relaciones de información. Los intercambios de información entre componentes humanos están condicionados a que los componentes compartan al menos un lenguaje (el lenguaje natural o lenguaje ordinario, cuanto menos). Según se hacen más complejos los niveles ópticos de los componentes humanos se observan que comparten lenguajes más específicos (lenguaje formal lógico-matemático, lenguajes naturales técnicos...). En todo caso, los lenguajes empleados por componentes humanos son de los tres tipos de información pragmática: representacional, práctica y valorativa. Estos lenguajes de la ingeniería, como sistemas mixtos (materiales-conceptuales) se tratan más adelante.

En la ingeniería, como en otras tecnologías, también se dispone de lenguajes específicos para la interrelación entre componentes-humanos y componentes-artefactos (de niveles ópticos superiores), como son los lenguajes informáticos. Para tales niveles ópticos, este tipo de lenguajes también permite las interrelaciones directas –sin mediación humana– entre distintos componentes de los sistemas artefácticos.

Además, las relaciones entre componentes humanos y artefactos, también pueden ser de tipo material o energético, lo que ocurre básicamente en los niveles ópticos bajos de artefactos. Por otra parte, en todos los niveles, pero especialmente a partir de estos, las interrelaciones entre componentes artificiales, señaladamente entre la terna funcional recurso-artefacto-producto, son de tipo material y energético. Dentro de cada nivel óptico, y para cada caso de sistema técnico, se establecen relaciones muy específicas de materia y energía que pueden identificarse.

En cuanto a la exoestructura del sistema óptico material ingenieril, que da cuenta de las relaciones entre componentes (C) y su entorno (E), puede establecerse de nuevo la diferencia entre los componentes de la agencia humana y los componentes artefácticos. Para los primeros, las relaciones con su entorno próximo (otros sistemas del complejo) son de información. Por otra parte, las relaciones con su entorno menos próximo, definido por el sistema social (subsistemas político, económico y cultural) en que se enmarcan, se producen sustancialmente también como relaciones de información.

Finalmente, la exoestructura de los componentes artefácticos se define básicamente por relaciones de materia y energía, tanto con otros sistemas tecnológicos como –especialmente

en el caso de ingenierías vinculadas al territorio– con el sistema ecológico o ecosistema (subsistema biótico y subsistema abiótico)³¹⁷.

A partir de lo anterior, puede representarse gráficamente, de forma general, el sistema óptico material ingenieril. Se incluyen los cuatro conjuntos de componentes, como subsistemas ópticos (agencia humana no institucional, artefactos y sistemas artefactivos, complejo institucional y toposistema). Se incluyen también como componentes los sistemas semióticos (sistemas puente material-conceptual). Y se indican los entornos del sistema óptico más relevantes (a excepción del resto de los sistemas del sistema complejo ingenieril), como son los supersistemas social (político, económico y cultural), y el supersistema ecológico. Se incluyen, de forma general, las relaciones de materia y energía (flecha continua marrón) y de información (flecha discontinua azul) entre los diferentes subsistemas, los sistemas semióticos, y con los supersistemas social (político, económico y cultural) y ecológico.

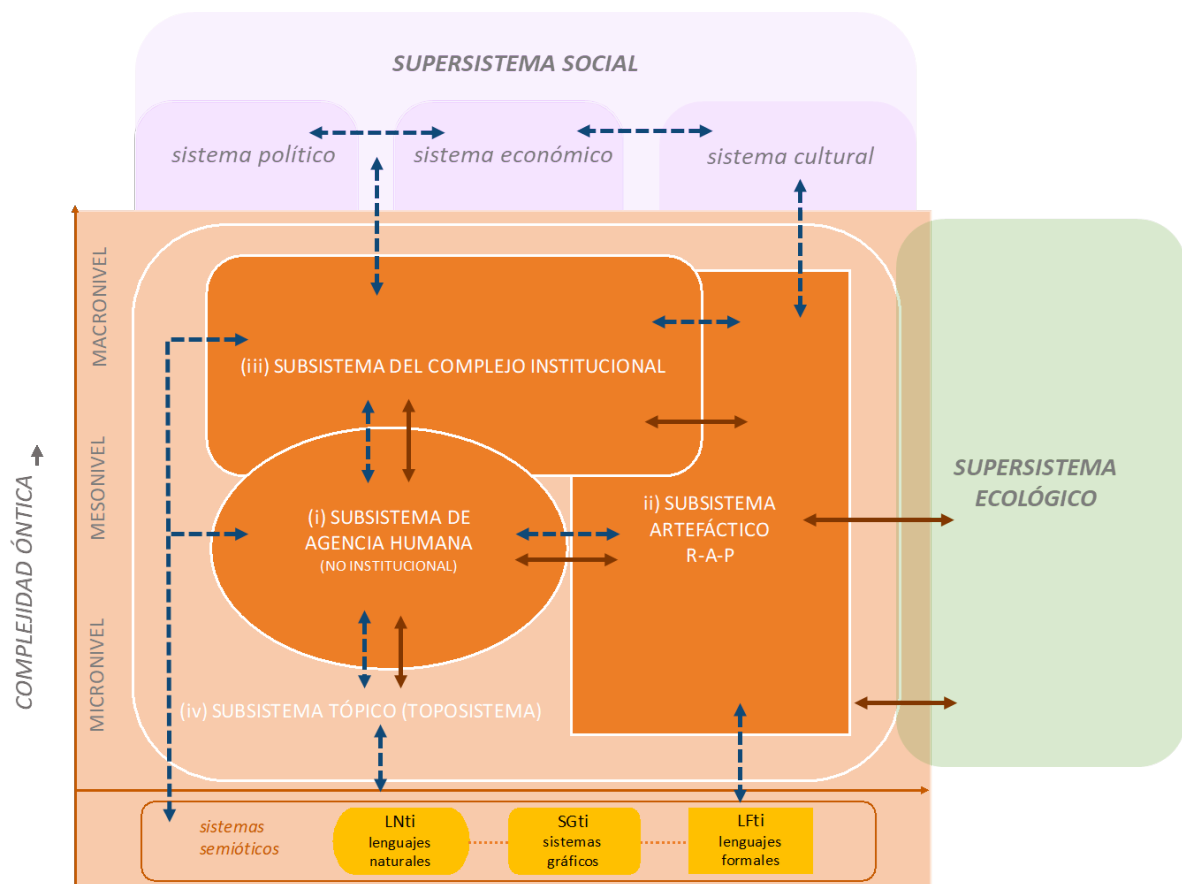


Fig. 5.1.b) Sistema óptico material ingenieril (*SONti*): grupos de componentes, entorno y estructura

A partir de este esquema general del sistema óptico material ingenieril (*SONti*), se procede a analizar con más detalle los componentes de cada uno de los cuatro subsistemas ópticos: (i) agencia humana de individuo y comunidad; (ii) artefactos en lógica ingenieril (R-A-P); (iii) complejo institucional como sujeto colectivo; y (iv) toposistema del sistema situado.

³¹⁷ En el caso de ingenierías entre cuyos sistemas técnicos está la transformación del territorio (ingeniería minera, civil, ambiental...) se modifican sistemas ecológicos (ecosistemas), por lo que las relaciones entre los componentes artefactos y la de componentes del ecosistema serían C-C, endoestructurales.



Fig. 5.1.c) Ruta general de elucidación del sistema óptico material ingenieril (SONti)

5.1.1 Subsistema óptico ingenieril (i): agencia humana de individuo y comunidades

El primer subsistema (i) de agencia humana (*SON(i)-AHcti*) del sistema óptico material ingenieril se centra en las persona, como individuo (o sujeto colectivo) y como colectividad (o sujeto colectivo; es decir cada comunidad profesional ingenieril), que se manifiesta como el núcleo de la ingeniería en tanto actividad socio-tecnológica humana intencionalmente orientada a la transformación eficiente de un estado de cosas para obtener resultados que se consideran valiosos (*cfr.* Quintanilla, 2005). Este subsistema intenta reunir los componentes exclusivamente humanos de la agencia humana³¹⁸, y reservo para otro subsistema (el del complejo institucional) a aquellos componentes mixtos que incluyen, además de actores humanos, componentes artefacticos, que son característicos del complejo institucional.

Se entiende que la propuesta base del capítulo anterior (sistema de campo ontológico material de una tecnología ingenieril) puede completarse de modo que el mapa de componentes del sistema CES tenga una mayor resolución y contenido. Ya se ha mencionado que hay una gradación entre los componentes, desde componentes más sencillos hacia componentes más complejos. Antes se ha visto la columna en que se estructura lo que puede llamarse como serie de agentes (seres humanos > agentes intencionales > comunidades profesionales) de complejidad creciente. A esta serie se le pueden hacer varias incorporaciones, como queda reflejado en la figura.

Respecto a la propuesta de partida, puede destacarse que el ‘agente intencional’ de Quintanilla (2005) podría presentarse precedido de lo que podría denominarse ‘agente humano intencional’ (Quintanilla, 1989), puesto que históricamente esa agencia intencional ha sido humana, y aún sigue siendo humana en una medida importante; aunque como se ve en Quintanilla (2005) se omite esa especificación (‘humano’) para dejar abierta la posibilidad de completar la agencia intencional mediante artefactos, mediante dispositivos ‘inteligentes’. Se trata entonces de una agencia intencional no humana que, como se verá, está relacionada con la columna genérica de objetos artificiales, ya a partir de un nivel alto de complejidad.

En todo caso, la serie de complejidad creciente desde seres humanos hasta agentes intencionales, en tanto entidades sencillas formaría la capa base del sistema óptico, en lo que denomino ‘micronivel’ en términos de complejidad óptica. Respecto a los niveles de complejidad óptica, puede indicarse que la representación parcial del sistema óptico que estoy comentando pretende, sin menoscabo de que la comunidad profesional ingenieril sea el elemento central del sistema, mostrar al tiempo una serie de inclusión (de los niveles medios en los niveles inferiores), y la progresiva interrelación y complejidad en los niveles ópticos. Esta inclusividad va a tener importantes repercusiones puesto que, por ejemplo, una persona

³¹⁸ De lo que afirmo a continuación, podría cuestionarse la idoneidad de, simplificando, nombrar al subsistema como ‘agencia humana’, cuando podría ser más preciso el de ‘agencia humana no institucional’, o ‘agencia humana hasta el nivel de complejidad de la comunidad profesional ingenieril’. Pero creo que es una identificación muy explícita e interesante, sobre todo cuanto la agencia humana se continúa a través del complejo institucional.

de una comunidad profesional académica, en tanto comunidad de agentes, en tanto agente intencional y en tanto ser humano, tendrá un haz multinivel (óntico) de relaciones ontológicas, semióticas, epistémicas, metodológicas, axiológicas, éticas³¹⁹ y praxiológicas.

Siguiendo con la representación gráfica, en la columna de agentes y pasando al mesonivel óntico, incluyo entre los agentes intencionales (AGIti) y las comunidades profesionales (COPTi) una denominación más genérica de comunidades de agentes (COAti) en tanto grupo de agentes organizados, pero que no sólo se refiere a la profesional (implícitamente intencional), sino que puede abordar otras actividades colectivas de agentes (intencionales o no intencionales). Este nivel permitiría conectar eventualmente con, por ejemplo, comunidades de agentes o profesionales de otras ramas tecnológicas.

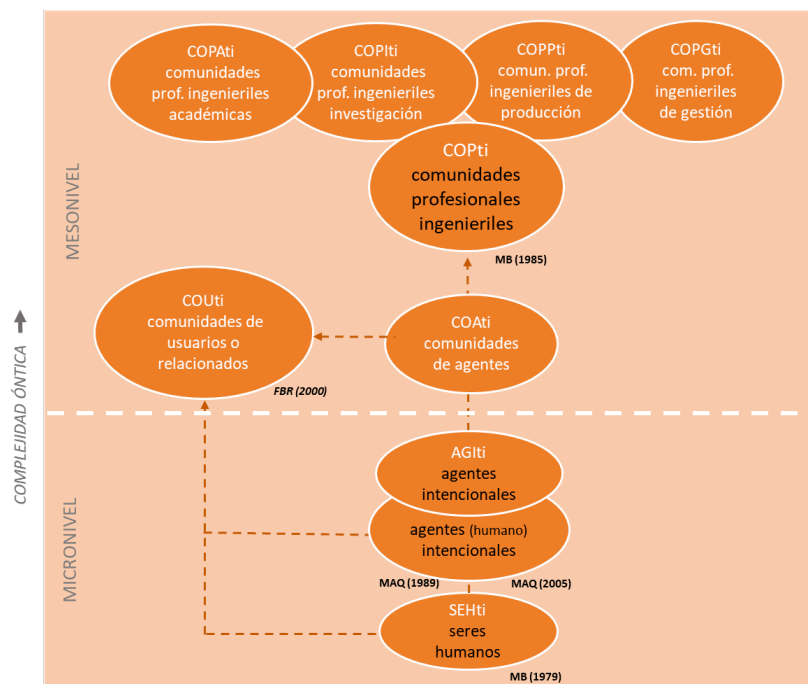


Fig. 5.1.1.a) Componentes (humanos) de sistema óntico material (i) de la ingeniería

Estas comunidades de agentes también dan paso a unas comunidades diferentes, como son la de usuarios o participantes (COUti) respecto la tecnología ingenieril, que se presenta apartada del tronco principal de los agentes profesionales. Lo que busco al incorporar a los usuarios³²⁰ como elemento en la ontología de agentes de la ingeniería, es dotar de mayor visibilidad a un agente operador clave en todos los procesos de diseño ingenieril, puesto que es responsable (por activa o por pasiva) de parte de las especificaciones y requerimientos de los artefactos así como, en definitiva, del éxito del artefacto en el mercado de productos (bienes y servicios).

³¹⁹ Esto se observará con gran claridad en los análisis tanto del sistema axiológico como del sistema ético, en donde el estudio en distintos niveles de complejidad requiere de enfoques diferenciados, como el de la microética y la macroética.

³²⁰ Como pone de manifiesto Floridi (2011: 27), hay una dilatada discusión sobre si el mejor conocimiento de un artefacto lo tiene el constructor o el usuario, siendo que esta última postura tiene raíces profundas desde el pensamiento platónico. Sin embargo, el autor reclama el valor del conocimiento que posee el constructor, proponiendo una epistemología constructorista, con base en seis principios: sólo podemos conocer lo que hacemos, constructibilidad, controlabilidad, confirmación, no-descriptivismo, y economía de recursos conceptuales. Esto puede verse en: Floridi, Luciano (2011) "Constructionism, the maker's knowledge tradition and knowledge engineering" (pp. 26-31) en: *Philosophy of Engineering vol. 2* Proceedings of a series of seminars, Royal Academy of Engineering, London.

Desde las comunidades genéricas de agentes, paso a incluir las comunidades profesionales ingenieriles (COPTi), que considero como un elemento por completo relevante, no sólo para la ontología material de los agentes, sino para todo el sistema óntico y para todo el sistema complejo ingenieril. Las comunidades profesionales ingenieriles son el nivel (mesonivel óntico) de agrupación del conjunto de los agentes humanos que tienen la condición de profesionales de la ingeniería. Y aunque, como señalan Maarten *et al.* (2018), no hay acuerdo sobre cómo se define una profesión, suelen mencionarse las siguientes características:

Una profesión se basa en conocimientos especializados y habilidades que requieren un largo período de estudio; el grupo de esa ocupación tiene el monopolio para la realización de dicha ocupación; la evaluación de si el trabajo profesional se lleva a cabo de manera competente es realizada por, y se acepta que esto sólo puede ser realizado por, pares profesionales; una profesión proporciona a la sociedad productos, servicios o valores que son útiles o valiosos para la sociedad, y se caracteriza por un ideal de servicio a la sociedad; la práctica diaria del trabajo profesional está regulada por estándares éticos, que se derivan o se relacionan con el ideal de la profesión al servicio de la sociedad.

A partir de la denominación genérica ‘comunidades profesionales ingenieriles’ despliego las cuatro variedades (praxiológicas) más importantes de especialización profesional que considero imprescindibles para garantizar la existencia y sostenibilidad del conjunto de las comunidades profesionales ingenieriles, como son las subcomunidades: académica (COPATi), dedicada al mantenimiento de la actividad ingenieril en el tiempo, mediante la formación de individuos que pasan a formar parte de la comunidad profesional; investigadora (COPITi) o de cambio, que se orienta al progreso del conocimiento y práctica ingenieril como actualización y avance de la actividad; de producción (COPPti), dedicada a la generación de productos (bienes y servicios) como resultados valiosos; y de gestión (COPGTi) dedicada en la ordenación del nivel alto de la actividad ingenieril formativa, de cambio y de producción, típicamente desde la administración pública. Al subdividir de esta manera las comunidades profesionales también quiero poner de manifiesto que utilizo el término ‘profesional’ en un sentido amplio, y que en ningún caso debe limitarse a los ‘profesionales de producción’, como se hace con frecuencia, por que en tal caso se estarían dejando fuera del sistema otras actividades profesionales que son por completo necesarias.

De lo observado hasta el momento, se podría representar (en correspondencia también con la representación gráfica) esta primera parte (i) de componentes humanos del sistema óntico material de la ingeniería (tecnología ingenieril), *SON(i)-AHCti*, como un conjunto de diez componentes, establecidos en orden creciente de complejidad:

$$SON(i)-AHCti = < SEHti, AGIHti, AGIti, COAti, COUti, COPTi, COPATi, COPIti, COPPti, COPGTi >$$

en donde:

SEHti : seres humanos del sistema óntico material de una ingeniería;

AGIHti : agentes intencionales humanos de una ingeniería;

AGIti : agentes intencionales (humanos y no humanos) de una ingeniería;

COAti : comunidades de agentes (intencionales o no intencionales) de una ingeniería;

COUti : comunidades de usuarios y relacionados (afectados) de una ingeniería;

COPTi : comunidades profesionales (agentes intencionales) de una ingeniería;

COPATi : comunidades profesionales académicas de una ingeniería;

COPIti : comunidades profesionales de investigación de una ingeniería;
COPPtí : comunidades profesionales de producción (bienes o servicios) de una ingeniería;
COPGti : comunidades profesionales de gestión de una ingeniería.

Para dotar de un sentido sistémico al conjunto, los componentes que se han identificado deben presentarse junto con su entorno (E) y las relaciones que definen su estructura (S). En este punto puede avanzarse, al menos, que la estructura que definen estos componentes se basa principalmente en relaciones informativas, particularmente información pragmática (descriptiva, práctica y evaluativa).

Antes se ha puesto de manifiesto cómo la totalidad de las comunidades profesionales ingenieriles (COPti) –como de cualquier otras comunidades tecnológicas– es la que garantiza la existencia y sostenibilidad del sistema complejo ingenieril. En mi opinión las comunidades profesionales ingenieriles son, con toda seguridad, el componente más importante de esta parte del sistema óntico, y por tanto de todo el sistema óntico material e incluso, sostengo, de todo el supersistema socio-tecnológico ingenieril. En este sentido irían las afirmaciones de Li Bo-cong (2010: 37) cuando destaca que: “la comunidad ingenieril es un tema muy importante en el campo de la filosofía”; para continuar poniendo de manifiesto que “sin embargo, este aspecto ha sido completamente descuidado”, por lo que el autor reclama que debería ponerse mayor atención al estudio de la comunidad ingenieril. Unas manifestaciones con las que estoy por completo de acuerdo, y que exigen que se le preste más atención. Así, desde este modelo de elucidación, y en tanto que claramente (*cfr.* Bunge, 1985: 231) la comunidad profesional es un sistema propio, debería contemplarse no sólo como un componente, sino también como un componente-sistema (C-S)³²¹ que debe considerarse detalladamente, como propongo.

5.1.1.1 Comunidades profesionales ingenieriles: componente del sistema óntico

Traigo de nuevo a este punto la caracterización que hace Bunge (1985: 231-232) de la comunidad profesional de una tecnología: “la comunidad profesional de *T*, es un sistema social compuesto por personas que han recibido capacitación especializada, tienen vínculos de información entre ellas, comparten ciertos valores e inician o continúan una tradición de investigación, diseño, planificación o evaluación de artefactos de algún tipo [p. 231]. La comunidad profesional de una tecnología (...) es un sistema propio, no un individuo aislado o un agregado de solitarios. (...) Esta sistematicidad está garantizada por sociedades profesionales y publicaciones. Sin embargo, las comunidades tecnológicas no son tan abiertas ni tan internacionales como las comunidades científicas (...) [p. 233]”.

Las comunidades profesionales ingenieriles (COPti) son un tipo de sistema social en que se encuentran individuos organizados (mediante sociedades o colegios profesionales, por ejemplo)³²², que comparten, además de una visión del mundo (sistema óntico material), una cultura ingenieril (sistemas semióticos, epistemológico, metodológico y ético-axiológico) y una praxis (sistema funcional praxiológico). De esto puede derivarse la conveniencia de que la elucidación del sistema óntico de una ingeniería determinada, y por tanto la elucidación la

³²¹ Ya se ha señalado, como uno de los principios del enfoque sistemista, la idea de que todo componente puede considerarse a su vez como un sistema. Sin embargo, en un proceso de elucidación creo que esto hay que mantenerlo dentro de los límites correspondientes al nivel de elucidación. Por esto, en casos importantes, como es el de la comunidad profesional ingenieril, voy a referirme a los componentes (C) como ‘componentes-sistema’ (C_S).

³²² Para cada concreta actividad ingenieril, así como para los espacios geográficos correspondientes, podrán analizarse los modos de organización profesional (colegios profesionales, sociedades...), así como las competencias y responsabilidades de los componentes de aquellas comunidades profesionales ingenieriles.

ingeniería como sistema complejo, se inicie a partir de las comunidades profesionales ingenieriles. Es más, puestos a elucidar con más detalle por debajo del nivel de actividad específica (ej. ingeniería ambiental sanitaria), podría hacerse –como nivel subespecífico– a partir de unas determinadas comunidades profesionales ingenieriles, para dar cuenta de la actividad ingenieril específica desde una concreta colectividad de agentes profesionales³²³.

Una vez delimitadas estas comunidades profesionales, tanto en términos de disciplina ingenieril (o en su caso subdisciplinas) como del área geográfica-cultural de actividad profesional, se pasarían a identificar como posibles componentes (C) los diferentes tipos profesionales, tanto en términos de formación académica (más orientada al conocimiento técnico primario o al conocimiento técnico secundario)³²⁴ como primera ‘puerta de entrada’ a la comunidad profesional; así como en términos de función praxiológica (docente, investigadora, productiva o gestora) profesional, aunque hay que tener en cuenta que un mismo individuo componente de la comunidad profesional (y por tanto, la comunidad como tal) puede simultanear funciones praxiológicas o cambiar entre ellas a lo largo del tiempo.

Sin embargo, cuando se subdividen las comunidades según la formación de los componentes se consigue una diferenciación más sustancial. Aquí hay un aspecto relevante que conviene resaltar: la subdivisión entre los componentes de las comunidades tecnológicas ingenieriles en virtud de su formación profesional, que lleva a un tipo más orientado hacia el conocimiento tecnológico primario (CT1ti) como sería la figura de ingeniero o ingeniera técnico (con denominación tradicional de ‘perito’ o ‘facultativo’), y al otro tipo, más formado en conocimiento tecnológico secundario (CT2ti), como sería la figura de ingeniero o ingeniera superior en la especialidad ingenieril de que se trate. Esta división responde, en mi opinión, a una necesidad de naturaleza praxiológica que a su vez está relacionada con la naturaleza de cualquier actividad tecnológica³²⁵, puesto que la tecnología, en tanto actividad transformadora, requiere de unos conocimientos y prácticas más cerca (de proximidad) de los objetos a transformar, pero también de unos conocimientos y métodos que permitan un conocimiento más amplio del estado de cosas a transformar.

Este modelo puede reconocerse en un amplio espectro de actividades humanas (no solamente en las actividades tecnológicas), por lo que podría deducirse que se trata de una moderna estrategia humana de división de tareas en la actividad técnica. Por eso creo que la orientación formativa fundamental (CT1ti o CT2ti), vale como criterio de subdivisión interna de los componentes de una comunidad profesional en: subcomunidad profesional de agentes formados en conocimientos ingenieriles primarios (COP-CI1ti) y subcomunidad profesional de agentes formados en conocimientos ingenieriles secundarios (COP-CI2ti).

En todo caso, una comunidad profesional genérica o comunidades específicas se representan socialmente a través de asociaciones (sociedades, colegios profesionales...) y redes profesionales. Por su parte, las relaciones (S) entre los miembros de la comunidad

³²³ Una posibilidad en esta dirección se estaría sugiriendo, por ejemplo, en W. González (2015: 16-17), cuando propone que el análisis de la ética de la tecnología pueda plantearse en tres niveles: a) ética de la tecnología en general, b) ética de una tecnología específica, y c) ética de los agentes tecnológicos.

³²⁴ Tradicionalmente, en la formación ingenieril a través de las escuelas de ingeniería, se han contemplado dos niveles (técnico y técnico superior) en la formación ingenieril. Uno más orientada a los conocimientos tecnológicos primarios (en el sentido que se hace en el análisis epistemológico), de modo que en las escuelas técnicas de peritos (para las ingenierías) o de aparejadores (para la arquitectura) se formaban los profesionales más ‘prácticos’. Y otro en las escuelas técnicas superiores, en donde se realizaba una formación más orientada a los conocimientos tecnológicos secundarios, como ingeniería, en un sentido común del término. Sin embargo, en algunos sistemas educativos universitarios y profesionales, como el español, se ha ido desdibujando esos dos diferentes tipos formativos y profesionales.

³²⁵ Nótese cómo esta división profesional en relación con el tipo de conocimiento tecnológico (primario/secundario) también se observa en las tecnologías constructivas (aparejador/arquitecto), o en tecnologías médicas (enfermero/médico).

profesional, en tanto componentes de la comunidad, se producen a través de lenguajes (naturales, gráficos y formales) y se canalizan a habitualmente –mediante al menos un lenguaje específico compartido– a través de comunicaciones (libros y revistas), reuniones (congresos) y redes de intercambio. Este conjunto de relaciones formaría la endoestructura³²⁶ de la comunidad profesional ingenieril. Estas relaciones, fundamentalmente de naturaleza informativa, se analizan con más detalle en el siguiente apartado, con el estudio de los lenguajes como sistemas puente semióticos³²⁷, considerando tres grupos: lenguajes naturales ingenieriles (LNTi); lenguajes formales en la ingeniería (LFTi); y sistemas gráficos en la ingeniería (SGTi).

En tanto componente-sistema, las comunidades profesionales ingenieriles se encuentran relacionada con tres entornos (E)³²⁸. Un entorno inmediato (E_{imm}), formado por los otros componentes del sistema óptico ingenieril, y con los componentes de los otros sistemas (epistémico, metodológico, axiológico, ético) y de los sistemas funcionales praxiológicos. En segundo lugar, con un entorno próximo (E_{prox}) del macrosistema social (político, económico y cultural). Y finalmente con el entorno medioambiental del sistema ecológico, que puede ser tomado como un entorno próximo (E_{prox}) necesario para algunas especialidades vinculadas a la transformación del territorio (ingeniería civil, ingeniería minera, ingeniería agronómica...), o como un entorno más distante (E_{dis}) para especialidades ingenieriles menos ‘territorializadas’ como la ingeniería industrial o electrónica³²⁹.

De lo anterior, podrían representarse las comunidades profesionales de la ingeniería, en tanto componente-sistema del sistema óptico de ingeniería (*SON(i)-COPTi*), atendiendo a sus componentes y entornos característicos, como:

$$SON(i)-COPTi = \langle COPTi, COP-CI1ti, COP-C2Iti, LNTi_n, LFTi_n, SGTi_n, E_{\text{imm}}, E_{\text{prox}}, E_{\text{dis}}, \rangle$$

en donde:

COPTi : comunidades profesionales ingenieriles indiferenciadas en tipos de conocimiento, ya que combinan formación en conocimiento tecnológico primario y secundario;

COP-CI1ti : subcomunidades profesionales de ingeniería formadas en conocimiento tecnológico primario (CT1ti);

COP-CI2ti : subcomunidades profesionales de ingeniería formadas en conocimiento tecnológico secundario (CT2ti);

LNTi_n : lenguajes naturales (lenguaje ordinario y especial) (ej. inglés, castellano...), como sistemas semióticos lingüísticos naturales (*SLN*);

³²⁶ Quiero precisar que esas relaciones entre miembros de la comunidad, en tanto comunidad como sistema (comunidad-sistema), se refieren a las que específicamente dan sentido a la comunidad como tal, sin tener ahora en cuenta otras relaciones como las que pueden producirse entre miembros de la comunidad cuando están desarrollando funciones praxiológicas, como puede ser la producción o la evaluación. Por ejemplo, cuando un supervisor del mercado eléctrico evalúa las operaciones de la dirección de una central hidroeléctrica, se trataría de una relación en el sistema praxiológico, pero no de una relación dentro del componente-sistema comunidad profesional de la ingeniería energética.

³²⁷ Como se ha comentado, los lenguajes, en tanto sistemas semióticos puente (material-conceptual) también tendrán su espacio en el sistema óptico material, al punto que bien podrían considerarse como ‘artefactos semióticos’.

³²⁸ En el análisis del entorno (E) de un sistema, contemplo la posibilidad de diferenciar, según la intensidad de las relaciones, con tres ‘distancias’ de entorno: entorno inmediato, entorno próximo y entorno distante.

³²⁹ Al tratar sobre la historicidad del sistema complejo ingenieril, esta divergencia puede advertirse ya desde el origen de las especialidades ingenieriles en los siglos XVIII y XIX, cuando aparecen, por un lado la ingeniería civil, para la transformación del territorio, y por otro lado la ingeniería fabril o maquinista, para transformar los procesos productivos. Es interesante observar cómo, en correspondencia, la primera se ha desarrollado más vinculada al sector público, mientras que la segunda se ha desarrollado más a la par de las necesidades (mercantiles) del sector privado.

LFTi_n : lenguajes formales (lógico-matemáticos, informáticos) compartidos, como sistemas semióticos lingüísticos formales (SLF);

SGTi_n : sistemas semióticos gráficos, icónicos o simbólicos;

E_{inn} : entorno inmediato de sistemas, que incluyen los componentes-sistemas del sistema óntico (SONti) y el resto de los sistemas del sistema complejo ingenieril (epistémico, SEPTi; metodológico, SMETi; axiológico, SAXti; ético, SETti), así como los sistemas funcionales praxiológicos SPRAti);

E_{prox} : entorno próximo de sistemas, que incluye el supersistema social S²SOC y subsistemas (político SOCpol, económico SOCeco y cultural SOCcul) y, en su caso, el supersistema ecológico (S²ECOL);

E_{dis} : entorno de sistemas distante, en su caso, el supersistema ecológico (S²ECOL).

5.1.2 Subsistema óntico ingenieril (ii): recursos (R), artefactos (A) y productos (P)

Como segunda parte del sistema óntico material ingenieril, reúno al conjunto de objetos (tanto naturales como, especialmente, artificiales) pero excluyendo a los agentes humanos. Se trata de identificar y estructurar, en la medida de lo posible, el conjunto de componentes (no humanos) artificiales concretos de la ontología material ingenieril, de ahí que lo denomine también como subsistema artefáctico (ART).

En el modelo base que ya se ha expuesto se observan dos columnas diferenciadas (una de objetos naturales, y otra de objetos exclusivamente artificiales) que presentan una estratificación según complejidad creciente, desde los niveles más sencillos (objetos simples), pasando por objetos ensamblados artificialmente, artefactos³³⁰ y productos. Creo que es un modelo que incluye los componentes que puede servir de marco prácticamente para cualquier tecnología (ingenieril, biotecnológica, social...), pero que conviene desarrollarlo más en este caso de la tecnología ingenieril. Para ello, puede partirse de los dos componentes que forman parte directamente de la actividad productiva ingenieril: artefactos³³¹ y productos. Los artefactos pueden ser el medio material transformador en el sistema de acciones técnicas que lleva, como resultado perseguido, al producto. También los artefactos pueden ser en sí mismos el producto resultante del proceso ingenieril. Pero, en ambos casos, haría falta una categoría de objetos materiales que sean los *inputs* del proceso ingenieril: los recursos. En cierta medida, esto aparece en el modelo en tanto que una parte de los objetos (indiferenciados) puedan considerarse como recurso para la producción.

Así, voy a reflexionar de modo que se contemplen tres tipos de objetos con que puede darse cuenta de gran parte del esquema de la actividad productiva ingenieril: i) recursos; ii) artefactos; y iii) productos. Puede decirse que estos tres grupos de objetos ‘trabajan juntos’ en la ingeniería. Ahora bien, aunque en la filosofía de la tecnología abundan las investigaciones filosóficas alrededor de la noción de ‘artefacto’, no ocurre así con las nociones de ‘recurso’ y

³³⁰ Considero que para el modelo de una tecnología ingenieril es suficiente con las observaciones realizadas sobre los artefactos. Sin embargo, la definición y posición relativa de los artefactos en relación con otros objetos como ‘instrumentos’ o ‘herramientas’ está siendo discutida, como puede verse en Dipert (1993), quien presenta los artefactos como un tipo de herramientas, y estas como un tipo de instrumentos; o Hilpinen (2004) para quien ‘artefacto’ sería equivalente al tipo ‘herramienta’ de Dipert. Esto puede verse en Verbeek & Vermaas (2009) “Technological artifacts” pp. 165-171, en: *A Companion to the Philosophy of Technology*, J. K. B. Olsen, S. A. Pedersen and V. F. Hendricks (eds). También puede verse Baker, L. R. (2004). “The Ontology of Artifacts,” *Philosophical Explorations*, 7: 99–111.

³³¹ Los artefactos pueden, por su naturaleza, clasificarse en artefactos físicos (ARTF), artefactos biológicos (ARTB) y artefactos sociales (ARTS). Dado que la mayor parte de los artefactos de la ingeniería son artefactos físicos, he optado por desarrollar el modelo R-A-P para artefactos físicos. No obstante, en la ingeniería ambiental existen diversos artefactos de tipo biológico (p.ej. instalaciones de procesos biológicos de depuración de aguas residuales), que serán tratados de forma singular.

‘producto’³³² (*inputs* y *outputs*, en términos de función productiva); y todavía menos en cuanto a la relación dinámica entre estos tres elementos.

Con este planteamiento el artefacto se presenta, en cierta medida, como mediador entre los recursos (objetos simples o complejos, naturales o artificiales) y los productos (bienes o servicios) en tanto resultados considerados valiosos. Así, el artefacto, que es esencial para la tecnología ingenieril, no siempre será el objetivo final de la actividad intencional ingenieril, sino que también aparece como un medio para los procesos ingenieriles, en los que se encontrarán inicialmente los recursos y, posteriormente, los productos. De este modo, la terna recursos-artefactos-productos (R-A-P) articula este subsistema (ii) de la ontología material, siendo una de las cuestiones más novedosas que propongo en el desarrollo de esta segunda parte de la ontología material ingenieril. Esta terna podría mostrarse, aún de forma más general, como *inputs*-(artefacto transformador)-*outputs*.

En esta parte (ii) de la ontología material ingenieril, voy a partir de la diferenciación entre objetos naturales y objetos artificiales, que considero el nivel óptico 0. Sigo las precisiones de Quintanilla (2005) de modo que, subiendo un nivel en complejidad, los objetos naturales pueden estar ensamblados artificialmente (lo que no les convierte en ‘artefacto’), mientras que los artefactos serían objetos artificiales ensamblados artificialmente. A partir de este nivel puede observarse cómo tanto desde los objetos (naturales o artificiales) simples, como de los niveles de objetos complejos voy a identificar ‘recursos’ (simples o complejos, naturales o artificiales). De hecho, estos recursos (REC), en función de su complejidad, podrán ir desde un nivel más simple (por ejemplo, la arcilla como material de transformación), hasta un nivel más elevado (por ejemplo, los materiales cerámicos de ingeniería aeronáutica y espacial). Esto se irá viendo, pero valga ahora mencionar la posibilidad de contemplar diferentes niveles de complejidad de los recursos (REC_{1...n}).

Otra cuestión del grupo de los recursos (REC) es que el sistema productivo ingenieril precise, no solamente de la materia prima u objetos de origen (sistema ‘primo’), sino también de una cantidad de energía procedente de una fuente energética determinada, y –en su caso– también de información. Como se ha comentado, el análisis de sistemas considera diferentes tipos de relaciones (S) entre los componentes (C) del sistema. En sistemas materiales las relaciones pueden manifestarse como intercambios de materia, de energía, y de información. En sistemas abiertos, como los que estamos tratando, los flujos de intercambio (relaciones, S) entre componentes, deben tener entradas (*inputs*) y salidas (*outputs*).

En correspondencia con esto, quiero diferenciar también tres tipos de recursos (REC) diferentes según su naturaleza: materiales (REC_{mat}); energéticos (REC_{ene}); e informacionales (REC_{inf}). Según el nivel de complejidad/transformación del recurso, podremos hablar también de distintos niveles para los recursos. También voy a avanzar, que llegado un determinado nivel de complejidad (meso y macro), podrían considerarse como recursos (en este sentido, *inputs*), tanto componentes de la familia artefactos (ART) como, esencialmente, de la familia productos (PRO).

Como he sugerido antes, el artefacto (ART) viene precedido del recurso (REC). El recurso se manifiesta en tanto objetos constitutivos del propio artefacto, o en los más de los casos, como entrada al artefacto (como sistema). Aquí está engarzada claramente la consideración de Quintanilla (2005) del artefacto como sistema, que a su vez responde a uno de los procesos tecnológico-ingenieeriles más característicos, como es el ensamblaje de sistemas. Así el artefacto es resultado del sistema ensamblado a partir de componentes

³³² Una de las excepciones, y motivo de inspiración para esta estructura R-A-P, está en Quintanilla (2005: 173), quien presenta, entre otras, las nociones de ‘producto’ y de ‘resultado’, como nociones básicas de una ontología de la tecnología.

artificiales (recursos-objeto) y es un componente clave de la ontología ingenieril como producto, en sí mismo, pero también como parte material del sistema técnico.

Continuando, me apoyo en la noción más estricta que hace Quintanilla (2005: 82) para artefacto como “aquellos objetos o sistemas que son producto de un sistema intencional de acciones y además son ‘nuevos’”, siguiendo con una aclaración “si el objeto [o sistema] no sólo es ensamblado artificialmente, sino que además no pertenece a ninguna clase natural³³³ de objetos [o sistemas], decimos entonces que es *un artefacto* en sentido estricto.”

Ahora, estando en el ámbito ingenieril, como tecnologías de base física, voy a ceñirme todo lo posible a los artefactos físicos, que son máquinas³³⁴, en su mayor parte. Dejo entonces de lado, por una parte los bioartefactos, que serían la categoría artefactual de referencia en la biotecnología, aunque puedan tener distintos papeles de importancia sobre todo en sistemas técnicos específicos de disciplinas ingenieriles como las agropecuarias o forestales, e incluso las ambientales. Tampoco voy a incluir aquí artefactos sociales, o socioartefactos, como pueden ser los lenguajes, puesto que los trataré en el apartado de sistemas semióticos, específicamente de los lenguajes en la ingeniería.

Entonces, como va a verse, el subsistema artefáctico (ii) del sistema óptico ingenieril está organizado principalmente según tres columnas (recursos o *inputs*, artefactos, productos o *outputs*), y en niveles crecientes de complejidad óptica, que cuentan ya desde el nivel más sencillo, de artefacto físico (nivel 1), hasta el máximo nivel óptico, el de redes de sistemas artefácticos (nivel 5).

La disposición de elementos de esta figura tienen un sentido aproximativo, para permitir una lectura más articulada. Aunque no son una representación estricta de las relaciones entre componentes, puede señalarse que la lineación vertical indica un orden de precedencia o, en su caso, de pertenencia (como subtipo). La lineación horizontal, particularmente en el campo óptico de los objetos artificiales y artefactos, sugiere las relaciones funcionales productivas en el sentido recurso-artefacto-producto (R-A-P), de acuerdo a lo que estoy denominando ‘lógica productiva ingenieril’, y que viene a reproducir (de izquierda a derecha) la línea de proceso que podría caracterizar a un sistema técnico determinado.

Puede destacarse una serie de ‘pautas de comportamiento correcto’ de relaciones entre los componentes de estas funciones R-A-P: (i) los productos (PRO) de un nivel óptico no pueden tener un nivel superior al de los recursos o artefactos de ese mismo nivel, lo que significa que la emergencia sistémica no puede ser fruto –exclusivamente– de un proceso productivo; (ii) el nivel óptico (máximo) de un artefacto (o sistema) será el nivel óptico del componente de mayor nivel; (iii) el artefacto (o sistema) puede emplear o transformar recursos o productos, tanto de su mismo nivel óptico como de los niveles ópticos inferiores.

En la figura adjunta se recoge, de forma general, el modelo de la triplete recurso/*inputs*, artefacto, producto/*outputs* (R-A-P), combinado con los cinco niveles de complejidad óptica. Se destacan con un color más oscuro aquellos componentes que podrían dar cuenta, dada la historicidad del sistema óptico, de los fenómenos de emergencia sistémica que podrían responder teóricamente de la aparición –a lo largo de una serie temporal– de las nuevas capas de complejidad óptica, desde un micronivel, hasta el macronivel que se ha alcanzado debido a los procesos de cambio tecnológico. Por supuesto que los nuevos niveles son inclusivos, de

³³³ Aquí entiendo que el ser ‘nuevos’ de la cita anterior se refiere al hecho de no pertenecer a ninguna clase natural.

³³⁴ Teniendo en cuenta que: “La importancia de las máquinas para la historia de la técnica deriva de su capacidad de integración en sistemas progresivamente complejos y de su efecto multiplicador de las posibilidades de diseño de nuevas técnicas” (Quintanilla, 2005: 107).

modo que no sustituyen a los anteriores, sino que se presentan como nuevos niveles de complejidad óptica disponible.

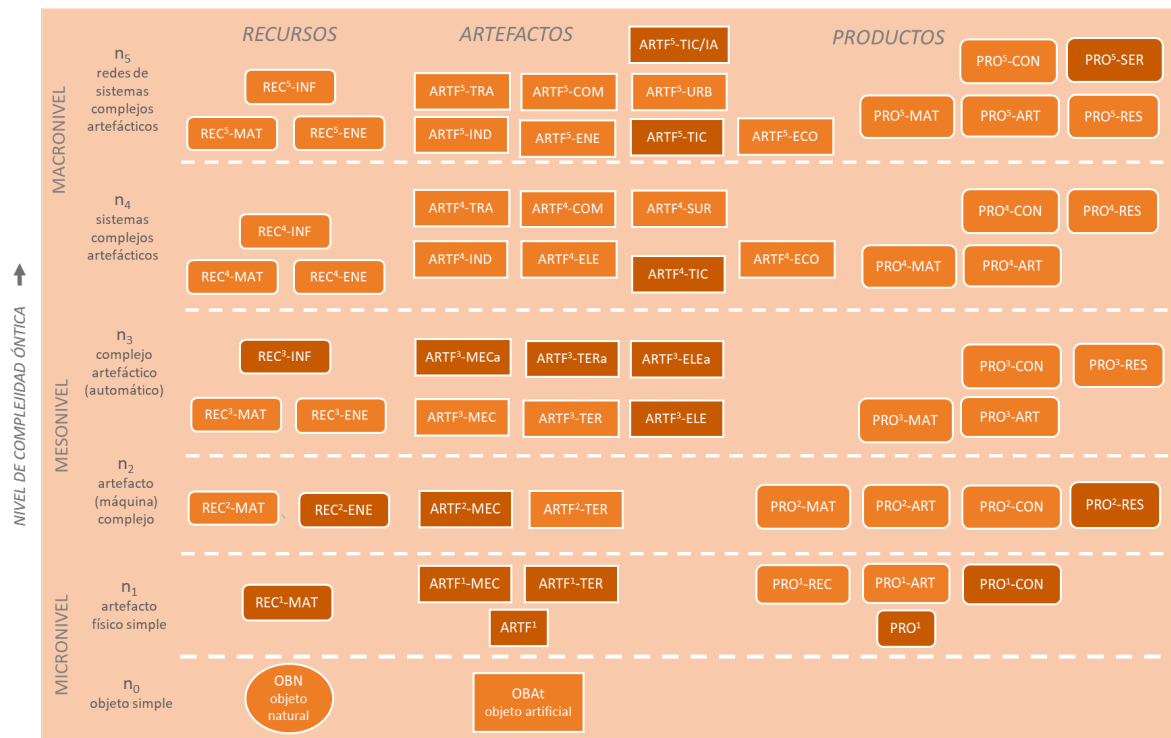


Fig. 5.1.2.a) Componentes (artefácticos) del sistema óptico material (ii) de la ingeniería

A partir de este punto, voy a presentar una descripción relativamente general de los cinco niveles ópticos y sus interrelaciones (R-A-P), que identifico, junto al nivel correspondiente, con una denominación más ‘literaria’ en que destaco aspectos característicos del nivel: 1) artefactos físicos simples; 2) carbón y máquinas complejas (mecánicas y motores); 3) electricidad y máquinas automáticas; 4) máquinas informáticas y sistemas complejos artefacticos; y 5) redes de sistemas complejos artefacticos e inteligencia artificial.

5.1.2.1 Nivel óptico 1: artefactos físicos simples

Parto de los artefactos más sencillos, como un sistema formado prácticamente a partir de dos componentes. El nivel óptico 1 de artefacto físico ($ARTF^1$) se correspondería con el de herramientas o instrumentos sencillos (martillo, pala...) o máquinas simples, que “son artefactos mecánicos de una sola pieza (...): el plano inclinado, la cuña, la palanca, el tornillo y la rueda.” (Quintanilla, 2005: 103). Estos artefactos simples son, por lo general, transformadores mecánicos ($ARTF^1$ -MEC), pero se les puede añadir en este primer nivel también artefactos simples transformadores mediante trabajo térmico ($ARTF^1$ -TER) como son, por ejemplo, los hornos más sencillos. En correspondencia, los recursos que artefactos tan simples puede transformar, también son simples, como la madera (material y combustible), la arcilla, la roca, e incluso algún mineral metálico. Estos recursos materiales pueden agruparse bajo la denominación REC^1 -MAT.

A su vez, los productos característicos de este primer nivel óptico (PRO^1) serían, en primer lugar, un conjunto de materiales elaborados y conformados, que podrían tener una utilidad directa, por ejemplo en actividad constructiva, como pueden ser: arenas y gravas, piedras talladas, adobes, ladrillos, tejas, tablonés, vigas, puntales, o conducciones. Estos

productos materiales (PRO¹-MAT) pueden, a su vez, ser tomados como recursos de este mismo primer nivel óptico (o de niveles superiores, como se verá), para –mediante transformaciones– construir infraestructuras o estructuras sencillas, dentro de este nivel óptico, como sería el caso de caminos o edificaciones, y que voy a considerar genéricamente como productos constructivos (PRO¹-CON). En este primer nivel óptico, también pueden encontrarse como productos ciertos objetos complejos, elaborados mediante ensamblaje manual de los anteriores, para obtener (y reproducir) artefactos como los citados para este nivel primario, y que por tanto voy a denominar como productos artefacto (PRO¹-ART).

Por definición, este nivel óptico primario está limitado por la complejidad de las máquinas mecánicas simples, pero también por el carácter primario de los materiales (piedra, arcilla, madera, metales) y por la procedencia (fuerza humana o animal) de la energía para el trabajo. Puede parecer que hay que remontarse en la historia³³⁵ para encontrar operativo este nivel óptico, pero lo cierto es que sigue siendo un nivel básico de producción en diferentes tipos de actividades. Aunque no se trata en esta sección, es importante señalar que el nivel óptico humano correspondiente a éste es el de agentes intencionales con conocimientos técnicos primarios, que articulan los diferentes sistemas técnicos de este nivel óptico 1.

5.1.2.2 Nivel óptico 2: carbón y máquinas complejas (mecánicas y motores)

Se alcanza el nivel óptico 2 a través de un proceso de ensamblaje de artefactos físicos muy sencillos, entre los que se encuentran las máquinas simples, pasando a conformar máquinas complejas, entre las que se van a destacar las máquinas mecánicas y los motores. Se trataría entonces de sistemas más complejos, en donde aparecen artefactos físicos como componentes característicos; y las máquinas complejas como una buena representación de este nivel. Aquí quiero recordar (*cfr.* Quintanilla, 2005: 103) que la forma más común de integración de tecnologías pasa por la incorporación de máquinas (complejas) como componentes materiales de una técnica.

Para este autor, siguiendo los planteamientos ingenieriles de Aracil (1986), una máquina “es un artefacto físico capaz de transformar energía de determinado tipo en trabajo mecánico. Una máquina junto con su usuario constituyen un sistema técnico en el sentido de nuestra definición. (La máquina por sí sola no es un sistema técnico, aunque pueda serlo en el caso de las máquinas automáticas.” (Quintanilla, 2005: 103).

Este nivel óptico 2 fundamenta su diferencia en la aparición y desarrollo (por especialización) de la máquina compleja, de la que considero los dos primeros tipos propuestos por Quintanilla (2005: 103): las máquinas mecánicas y los motores. Son artefactos físicos de tipo mecánico, identificados respectivamente como ARTF²-Mmec y ARTF²-Mmot.

En primer lugar tendríamos las máquinas mecánicas (ARTF²-MECmaq), como sistemas, que serían “dispositivos de diverso grado de complejidad que combinan funciones mecánicas simples para producir un tipo de movimiento o trabajo específico. Su funcionamiento [determinado por su estructura mecánica] depende del aporte de energía que reciben del exterior” (Quintanilla, 2005: 103). Esta función de transformación mecánica exige entonces un recurso material (materia prima u objetos artificiales) y un recurso energético (habitualmente mediado por un motor, como se verá), para la obtención de un producto como

³³⁵ Es claro que, durante un período de tiempo, este nivel óptico primario ha sido el único del sistema técnico disponible, lo que se verá con detalle en el apartado sobre la historicidad del sistema tecnológico ingenieril, pero lo que se pretende mostrar con esta identificación y representación por niveles de complejidad óptica es que –como si de una estructura de capas se tratara– el sistema óptico actual de la ingeniería es el resultado de una composición de sistema complejo con estructura de capas con grado creciente de complejidad. Y que el diferencial de complejidad de entre una capa y la siguiente tiene que ver con un proceso dual de integración y emergencia sistémica.

resultado, siguiendo la lógica de producción ingenieril R-A-P. La Revolución Industrial es un caso paradigmático de la integración de técnicas por incorporación masiva de máquinas mecánicas, especialmente en el sector textil.³³⁶ Aún hoy en día, la función de transformación mecánica sigue siendo un elemento esencial de la economía productiva, si bien mediante sistemas algo más complejos que habitualmente integran motores.

De acuerdo con Quintanilla (2005: 103-104) “los motores son máquinas que transforman y aprovechan fuentes naturales de energía de manera que sea utilizable para el trabajo mecánico. La vela de los barcos, la rueda hidráulica, los molinos de viento, los resortes o las pesas de los relojes, la turbina, etc., son ejemplos de motores basados en las leyes de la mecánica.” Así, voy a denominar este componente (componente-sistema) como artefacto-máquina motor (ARTF²-MECmot).

En tanto sistema, la función de transformación energética del motor estaría condicionada por los componentes de entrada (*inputs*), bien sean de tipo material (ej. combustibles) o energético y por su estructura, orientada –en todo caso– a disponer de energía útil para el trabajo mecánico. Por este motivo, al analizar la lógica de producción ingenieril (R-A-P), se observa que los motores están relacionados (flujos de materia y/o energía), precedentemente, con diversos recursos (REC), pero su producto (energía para trabajo mecánico) es ‘intermedio’, lo que equivale a decir –como se ha avanzado– que en la práctica sólo podría ser aprovechado por una máquina mecánica (ARTF²-MECmaq). Esto hace conveniente incluir en este nivel óntico un artefacto algo más complejo como sería el resultante de la máquina motor acoplada a la máquina mecánica, que represento como ‘máquina motor-mecánica’ (ARTF²-MECmm), donde el ejemplo paradigmático sería la máquina de vapor.

En este punto, voy a incluir también (como evolución del artefacto del nivel anterior) al grupo de artefactos físicos de trabajo termodinámico (ARTF²-TER), entre los que se pueden encontrar calderas (pieza base de la máquina de vapor), hornos o reactores físico-químicos.

Estos distintos artefactos pueden aparecer combinados (como en el caso de la máquina motor-mecánica), pero también pueden estar combinados con artefactos del nivel óntico inferior, así como con infraestructuras y estructuras como productos constructivos del nivel anterior (PRO¹-CON) o del propio nivel (PRO²-CON). Esto permite la definición material de entidades novedosas (respecto al nivel óntico 1, anterior) como por ejemplo: talleres mecánicos, fundiciones, vehículos motorizados, vías de transporte o fábricas mecanizadas.

Estos artefactos productivos, siguiendo la lógica de producción ingenieril, están precedidos de recursos (REC). Este nivel óntico se explica no solamente por la presencia de recursos materiales, sino también de nuevos recursos energéticos (combustibles fósiles). En primer lugar, podrían ser recursos de este segundo nivel óntico, tanto los recursos materiales de primer nivel (REC¹-MAT) como los productos materiales del nivel 1 (PRO¹-MAT). Además, se incluyen nuevos recursos materiales del nivel 2 (REC²-MAT). Pero, la novedad más característica entre los recursos del nivel óntico 2 es la aparición de recursos energéticos (REC²-ENE) a partir de combustibles fósiles, señaladamente del carbón mineral.

Al final del proceso productivo, siguiendo la lógica R-A-P, se tendrían –como en el caso del nivel óntico anterior– tres tipos de productos: nuevos productos materiales (PRO²-MAT); reproducción y mejora de artefactos existentes, como PRO²-ART; y nuevos tipos de infraestructuras y estructuras como productos constructivos (PRO²-CON). A diferencia del

³³⁶ Este tipo de máquinas mecánicas son un ejemplo adecuado para dar cuenta, en su caso, de la historicidad del sistema complejo de la tecnología ingenieril, al poner de manifiesto el diferente papel que estos artefactos han tenido en los siglos XVIII, XIX y XX, y cómo por agregación de otros artefactos (motores, automatismos...), junto con el papel de agentes intencionales, se ha ido incrementando su nivel de complejidad óntica.

nivel óptico anterior, la intensidad del uso de materiales y energía, así como del proceso de producción y consumo, genera en este nivel una serie especial de productos (no deseados), de residuos (PRO²-RES), que no sólo carecen de valor económico sino que pueden tener efectos indeseados. Un ejemplo claro son los hollines, humos y gases de combustión de carbón y otros procesos de naturaleza térmica, que en su mayor parte son emisiones contaminantes gaseosas (PRO²-RESgas).

A pesar de una cierta complejidad de los artefactos de este nivel, e incluso de la novedad de los recursos energéticos minerales (combustibles fósiles), hay que poner de manifiesto que en este nivel óptico para mantener las relaciones de materia y energía entre los componentes (del proceso R-A-P), y poder hablar con propiedad de ‘sistemas técnicos’ debe contarse en todo caso con la participación directa de agentes intencionales humanos.

Este punto, que puede responder a lo que se ha denominado como complejo ‘hombre-máquina’, nos situaría justo por debajo de lo que podría denominarse ‘nivel óptico de sistema tecnológico de complejidad media’. Esto sería una capa-guía, siguiendo un símil geológico con el que se destaca un estrato que indica un cambio del registro merecedor de una división temporal. Así, la máquina motor-mecánica junto con un usuario (complejo hombre-máquina), estaría en la zona superior del nivel óptico de complejidad baja (o micro) y en la parte inferior del nivel óptico de complejidad tecnológica media. El usuario de la máquina motor-mecánica podría ser el agente intencional correspondiente en el subsistema (i) óptico material.

5.1.2.3 Nivel óptico 3: electricidad y máquinas automáticas

Desde el punto de vista de la estructura sistémica, el nivel 3 puede considerarse similar al nivel 2, puesto que el complejo artefáctico también es un sistema entre cuyos componentes pueden encontrarse distintos artefactos, junto con otros componentes más sencillos. Sin embargo, puede distinguirse como un nuevo nivel óptico por el hecho de que se incorpora una nueva familia de artefactos físicos, de acuerdo al tipo de trabajo. Son los de trabajo eléctrico, y por extensión, los artefactos físicos eléctricos (ARTF³-ELE), como turbinas, generadores, transformadores o máquinas eléctricas y electrónicas.

Esto viene precedido por la entrada como recurso de un nuevo tipo de energía (REC³-ENE), como es la energía eléctrica (REC³-ENEele), que es una nueva relación transversal en este nivel óptico. Ello supone una serie de cambios relevantes, como puede verse en Quintanilla (2005: 104) cuando destaca que “la importancia, mayor aún [que la máquina de vapor], de los motores eléctricos deriva de que gracias a ellos es posible transformar cualquier otra fuente de energía disponible en energía utilizable de múltiples formas en lugares alejados del origen de la energía.”

El manejo de la electricidad como ‘modo de energía integrado’ supone también una posibilidad de intercomunicación entre componentes prácticamente instantánea, no solamente para los dispositivos insertos en máquinas, sino también para grandes distancias. Esta nueva forma de relación entre componentes abre un inmenso espacio de oportunidades para el conjunto de la tecnología ingenieril.

En relación con esto, por la introducción generalizada de automatismos de tipo electrónico, que suponen la automatización de máquinas mecánicas y termodinámicas. La complejidad de las máquinas (complejas) se incrementa con la presencia de las máquinas automáticas. Siguiendo a Quintanilla (2005: 104) “una máquina automática es aquella que es capaz de adaptarse a circunstancias cambiantes. (...) El funcionamiento de máquinas automáticas, como de cualquier otra máquina, requiere el intercambio y la transformación de energía, pero la función [de regulación o control] de los dispositivos automáticos no depende de la cantidad de energía o de trabajo mecánico que realizan, sino de la información que a

través de ellos transmiten o procesan.” Así, lo que hace diferente al sistema máquina automática de los anteriores es la existencia de relaciones de información entre diferentes componentes de la misma. Esto supone que de forma autónoma, sin participación humana, pueda desarrollar funciones características de un sistema técnico, por tanto alineadas con la lógica R-A-P de producción ingenieril. Entonces, lo que hace diferente a una máquina automática, son los sensores capaces de obtener información sobre una variable de estado definida, un mecanismo de procesamiento de la señal (información) y evaluación de su valor, y unos dispositivos de control que actúen, en su caso, sobre los componentes adecuados para que la máquina esté en el rango de valor objetivo.

Siguiendo con el esquema de la lógica de producción ingenieril (R-A-P), podemos identificar a un conjunto de componentes como artefactos físicos del proceso transformador característicos del nivel 3. Estos serían los artefactos físicos de trabajo eléctrico (ARTF³-ELE), que pueden considerarse prácticamente automatizados desde su origen, por lo que podría denominarse como ARTF³-ELEA, en donde se incluirían tanto generadores eléctricos, como motores eléctricos, como máquinas eléctricas. Por otra parte, estarían los artefactos complejos automatizados, tanto los característicos de trabajo mecánico (ARTF³-MECA) como de trabajo termodinámico (ARTF³-TERA).

Estos distintos artefactos pueden aparecer combinados entre sí, pero también pueden estar combinados con artefactos del nivel óptico inferior, así como con infraestructuras y estructuras como productos constructivos del nivel anterior (PRO²-CON) o del propio nivel (PRO³-CON). Esto permite la definición material de entidades novedosas (respecto al nivel óptico 2, anterior) como por ejemplo: centrales eléctricas; fábricas automatizadas, vehículos automáticos³³⁷, infraestructuras y líneas de transporte, o servicios urbanos (agua potable, saneamiento, iluminación pública, gas...).

Siguiendo la lógica de producción ingenieril, estos artefactos productivos están precedidos de recursos (REC), donde el recurso energético eléctrico es un componente clave. En primer lugar, podrían ser recursos materiales de este nivel óptico todos los recursos materiales y productos materiales de los niveles ópticos 1 y 2, así como los nuevos recursos materiales (REC³-MAT) y los nuevos productos materiales (PRO³-MAT) del nivel óptico 3. Además, podrán ser recursos energéticos de este nivel los recursos de los niveles precedente. Pero, la novedad más característica entre los recursos del nivel óptico 3 sería la incorporación de recursos energéticos eléctricos (REC³-ENE). A su vez, puede señalarse la progresiva incorporación, como entrada y como relación entre componentes (derivada de los procesos de automatismo y control) de información (REC³-INF), aunque esta no sea todavía ubicua.

Al final del proceso productivo, siguiendo la lógica R-A-P, se tendrían –como en el caso del nivel óptico anterior– tres tipos de productos: nuevos productos materiales (PRO³-MAT); reproducción y mejora de complejos de artefactos existentes, como PRO³-ARTF; y nuevos tipos de infraestructuras y estructuras como productos constructivos (PRO³-CON). En este final de producción, como en el caso anterior, pero con mayor importancia aún, se encuentra la categoría de los residuos (PRO³-RES) contaminantes, tanto de residuos sólidos (PRO³-RESSol), como vertidos (PRO³-RESver), como emisiones gaseosas (PRO³-RESgas). Pero además puede incluirse como residuos los artefactos (o sus componentes) deteriorados o gastados, que identifique como un nuevo tipo de residuos (PRO³-RESSolart), como sería el caso de los vehículos fuera de uso.

³³⁷ Considerando, de forma amplia, todos los artefactos autotransportados motorizados, como serían las aeronaves, barcos, locomotoras y trenes, automóviles y camiones.

5.1.2.4 Nivel óptico 4: máquinas informáticas y sistemas complejos artefactivos

Este nivel óptico se entiende a partir de la capa subyacente (nivel óptico 3), y se justifica por la emergencia de nuevas propiedades derivadas de novedades tecnológicas como: (i) la máquina electrónica e informática; (ii) materiales y técnicas de miniaturización de componentes, que abren la posibilidad de artefactos muy complejos de dimensiones muy reducidas; (iii) la ubicuidad de automatismos de control que regulan relaciones (información) entre artefactos y sistemas de artefactos; (iv) la facilitación e intensificación de interrelaciones sistémicas de energía e información entre artefactos, que derivan genéricamente en sistemas o redes artefactivas, que pueden interactuar —una vez diseñado e implementado el sistema técnico— prácticamente de forma autónoma respecto a operadores humanos.

Se ha visto cómo en el nivel 3 las máquinas (mecánicas, térmicas y eléctricas) incorporan automatismos internos (en las propias máquinas), lo que facilita un desarrollo innovador de los automatismos. Llegando a un punto en que, como destaca Quintanilla (2005: 105): “la posibilidad de independizar las funciones de control de las funciones estrictamente mecánicas se ha generalizado en la práctica gracias al desarrollo de la electrónica y la informática” y también ha dado lugar “a la generalización de un nuevo tipo de máquinas: las máquinas automáticas programables de propósito general” en terminología bungeana. En este tipo de máquinas, la información (también como recurso, e incluso como producto) adquiere un papel absolutamente relevante, ya que “la función de los dispositivos automáticos no depende de la cantidad de energía o de trabajo mecánico que realizan, sino de la información que a través de ellos transmiten o procesan.” (Quintanilla, 2005: 104).

Ahora puede identificarse una última familia de artefactos físicos ingenieriles, resultante final de una integración funcional de las máquinas mecánicas y automáticas y de los artefactos físicos de tipo eléctrico, para la transmisión de información y comunicación, que daría lugar a un ‘artefacto físico mecano-eléctrico de información y comunicación’, donde la transformación es de naturaleza electromagnética —en tanto que portadora de información semiótica. Esta nueva familia de artefactos podría denominarse como de transformación mecano-eléctrica de información y comunicación (ARTF⁴-TMEIC), o simplemente ARTF⁴-TIC, y de la que un tipo habitual serían los ordenadores (ARTF⁴-TICord). Como señala Broncano (2005: 105) “los computadores significaron la aparición de un sistema híbrido: incorporaban los bucles y controles informacionales a su propia conducta como máquina”.

Avanzando más, de acuerdo con Quintanilla (2005: 106) “el último paso en la evolución de las máquinas lo constituyen los robots. Un *robot* ideal es una máquina que dispone de un conjunto de sensores para detectar el estado de los objetos que constituyen su entorno o las propiedades de los que tiene que manipular, un conjunto de dispositivos efectores (...) y un sistema de procesamiento de información programable de propósito general.” Una máquina, que siguiendo la notación propuesta, se identificaría como ARTF⁴-TICrob.

Siguiendo con el esquema de la lógica de producción ingenieril (R-A-P), podemos identificar a un conjunto de componentes como sistemas artefactivos que dan cuenta del proceso transformador característicos del nivel 4. En primer lugar, ya se ha identificado una nueva familia de componentes sobre la información y comunicación (ARTF⁴-TIC), en donde se han señalado dos nuevos componentes relevantes para el nivel óptico 4: los ordenadores (ARTF⁴-TICord) y los robots (ARTF⁴-TICrob). Pero esta capa óptica también incluye una nueva modalidad artefactiva, que resulta de la integración (material, energética e informativa) de artefactos de niveles ópticos inferiores, para dar lugar a nuevos sistemas o redes artefactivas, con mayor grado de interrelación entre sus artefactos, como componentes.

Así, en este nivel óptico, podría decirse que se pierde la ‘individualidad’ de los artefactos, que pasan a estar fuertemente interrelacionados: la exoestructura (relaciones componente-

entorno) de los artefactos de niveles ónticos inferiores, pasa a ser la endoestructura (relaciones componente-componente) de los sistemas o redes artefacticas, aunque la gestión de estas redes estaría aún bajo ‘tutela’ directa de agentes intencionales de la comunidad profesional ingenieril, e incluso de las diferentes subcomunidades (académica, de cambio, productiva y de gestión). La dimensión física de estas redes puede ser típicamente local o regional (subnacional)³³⁸, lo que es coherente para que puedan formar –junto con la comunidad profesional– el complejo institucional correspondiente.

Como tipos de estos sistemas artefacticos, en tanto componentes del nivel óntico 4, pueden mencionarse: complejos de producción industrial (ARTF⁴-IND); redes de transporte modal (ARTF⁴-TRA); energía eléctrica (ARTF⁴-ELE); redes de combustibles (ARTF⁴-COM); redes y sistemas de servicios urbanos (ARTF⁴-SUR); redes de servicios ecosistémicos (ARTF⁴-ECO); y redes de telecomunicaciones (ARTF⁴-TEL).

Estos sistemas complejos artefacticos, siguiendo la lógica de producción ingenieril, están precedidos de recursos específicos del nivel (REC⁴), en donde el recurso energético (electricidad y ondas electromagnéticas, REC⁴-ENE_{oe}) es portador –y por tanto limitante– del recurso informativo (REC⁴-INF). Además, el sistema artefactico del nivel óntico 4 estaría capacitado para incorporar recursos (materiales y energéticos) de las capas ónticas inferiores.

Al final del proceso productivo, siguiendo la lógica R-A-P, se obtendrían tres tipos de productos: nuevos productos materiales (PRO⁴-MAT); reproducción y mejora de los sistemas artefacticos existentes, como PRO⁴-ARTF; y nuevos tipos de infraestructuras y estructuras (PRO⁴-CON) por integración y mejora. Como en el nivel óntico anterior, también aparecen residuos (PRO⁴-RES) en tanto componentes no deseados (rechazos) de procesos del sistema artefactico: residuos sólidos (PRO⁴-RES_{sol}), vertidos líquidos (PRO⁴-RES_{ver}), y emisiones gaseosas (PRO⁴-RES_{gas}). Ahora bien, puede observarse que el nivel óntico 4, que se presupone más optimizado material, energéticamente, y con mayores flujos de información, puede entenderse como más ‘desmaterializado’ que el nivel 3, por lo que podría suponerse que los ratios de generación de residuos (por unidad de producción) fueran inferiores.

5.1.2.5 Nivel óntico 5: redes sistemas complejos artefacticos e inteligencia artificial

Este se presenta como el nivel óntico de mayor complejidad, de modo que podría considerarse el límite superior de la banda de macrocomplejidad del subsistema (ii) artefactico del sistema óntico ingenieril. Esta complejidad es, al menos, la resultante de: (i) la complejidad intrínseca de los componentes de este nivel 5, que serían sistemas complejos artefacticos (nivel 4); (ii) la intrincada malla de interrelaciones (de materia, energía e información) que se producen entre los componentes de este nivel 5 y con los de niveles inferiores; (iii) las dimensiones (magnitud) de la red de sistemas complejos, que pueden llegar a ser no sólo nacionales o continentales, sino globales; (iv) la disponibilidad de un espacio común de intercambio de información en soporte digital (electromagnético); y (v) la investigación, desarrollo y aplicación de agencia intencional no humana, como inteligencia artificial (IA).

La complejidad de este nivel óntico se refleja en la propia denominación, de modo que las redes de sistemas complejos artefacticos serían entonces, equivalentes prácticamente a supersistemas complejos, o lo que es lo mismo, sistemas de sistemas (complejos) artefacticos.

³³⁸ Parte de estas redes o sistemas, frecuentes por ejemplo en la ingeniería civil, ingeniería energética e ingeniería de telecomunicaciones, pueden llegarse a considerar como ‘sistemas de gran escala’ (*Large Scale Systems*, LSS), cuya singularidad les convierte en objeto de análisis técnico y filosófico específico. Como se verá después, las redes de sistemas artefacticos del nivel óntico 5 tienen –característicamente– estas dimensiones.

La red global de internet podría considerarse como un componente característico y esencial del nivel óptico 5. Sería, siguiendo la notación anterior, una red de sistemas artefactivos de la familia de información y comunicación, de modo que –siguiendo la notación propuesta– se podría identificar como ARTF⁵-TICint. También, por sus características, puede singularizarse la inteligencia artificial (IA) como componente de este nivel óptico, identificado como ARTF⁵-TIC/IA.

Además de estos dos componentes, pueden mencionarse otros componentes relevantes del nivel óptico artefactivo 5: redes de sistemas industrial-logístico (ARTF⁵-INDlog); redes de sistemas de transporte multimodal (ARTF⁵-TRAmum); redes de sistemas eléctricos (ARTF⁵-ENEele); redes de sistemas energéticos no eléctricos (ARTF⁵-ENecom); redes de sistemas metropolitanos y megaurbanos (ART⁵-URBme); redes de servicios ecosistémicos globales (ARTF⁵-ECOflo); y redes de sistemas de telecomunicación (ARTF⁵-TICtel).

Como en los niveles ópticos anteriores, siguiendo la lógica de la producción ingenieril (R-A-P), se observa que las redes de sistemas artefactivos estarían precedidas de recursos, tanto específicos del nivel óptico (REC⁵), como de recursos, artefactos y productos de niveles ópticos inferiores.

De igual modo, las redes de sistemas artefactivos estarán seguidas de productos característicos del nivel (PRO⁵), diferenciando –como en los anteriores– los productos materiales (PRO⁵-MAT), los productos artefactivos (PRO⁵-ART), y los productos constructivos (PRO⁵-CON). A los que puede añadirse otros productos de naturaleza informativa (PRO⁵-INF), así como –de forma general– servicios tecnológicos (PRO⁵-SER).

5.1.3 Subsistema óptico ingenieril (iii): sujeto colectivo como complejo institucional

Como se ha visto, el subsistema (i) de agencia humana, cuando se limita exclusivamente a los agentes humanos, llega hasta un máximo nivel de complejidad con las comunidades profesionales ingenieriles (académica, investigadora o de cambio, productora y de gestión). Hasta este punto pueden considerarse a los seres humanos (individual o en comunidad) como únicos sujetos responsables de la agencia humana, lo que tiene sus limitaciones. Porque a partir de un determinado grado de complejidad óptica de la tecnología ingenieril³³⁹, se hace cada vez más necesario que las acciones humanas progresivamente más complejas se desarrollen por un sujeto colectivo, con el concurso adicional (a la comunidad profesional ingenieril) de otros grupos de agentes humanos, así como diferentes componentes artefactivos. Esto nos sitúa en el ámbito del subsistema del complejo institucional como sujeto colectivo (*cfr.* Broncano, 2000: 97).

El complejo institucional, además de incluir a las distintas comunidades humanas, ha de incluir una serie de componentes materiales con distinto grado de complejidad. Aunque este tipo de componentes artefactivos no se analiza ahora, puede apuntarse que, por ejemplo, el complejo institucional académico debe estar acoplado con elementos como: oficinas, aulas, bibliotecas, laboratorios o talleres, junto con dispositivos de información y comunicación.

Para comenzar, voy a considerar como nivel básico (0) de complejidad óptica a las organizaciones de las comunidades profesionales ingenieriles (CIN⁰-COPTi), como pueden ser los colegios profesionales de ingeniería o las asociaciones ingenieriles, que se encontrarían a

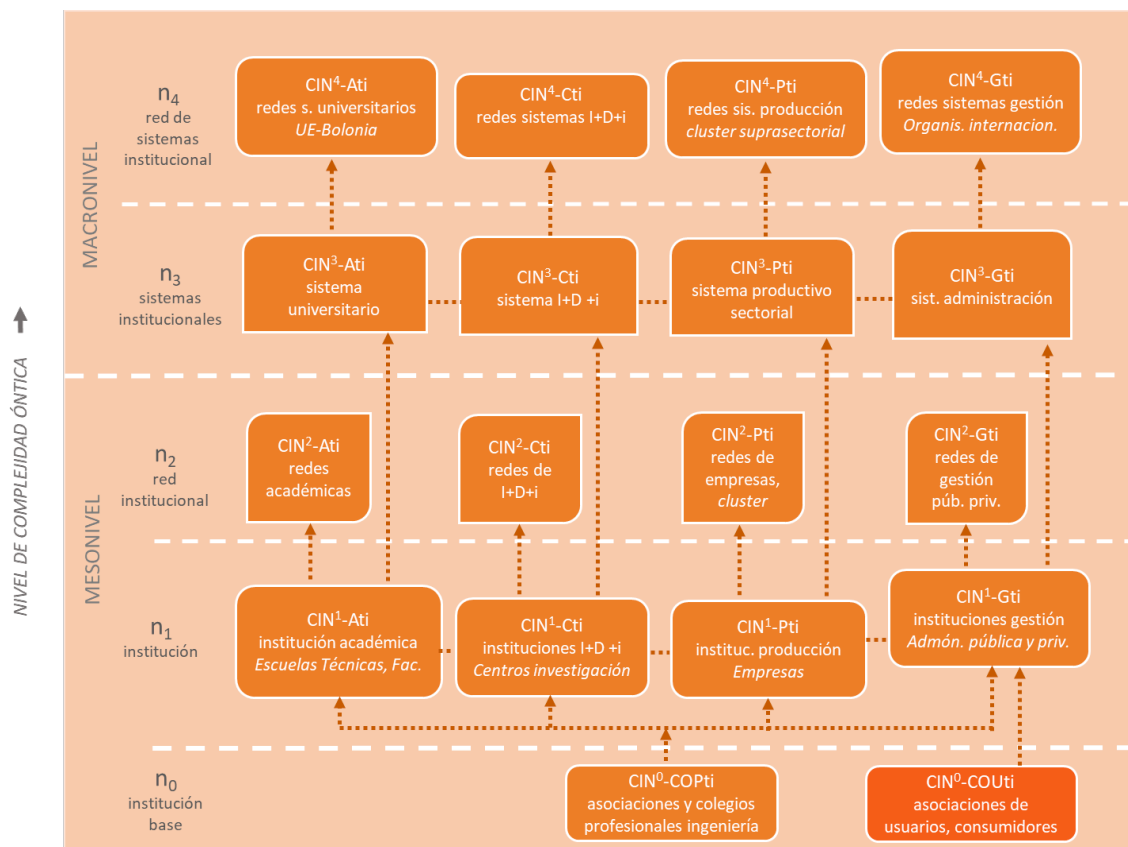
³³⁹ En este sentido están las afirmaciones de Broncano (2000: 97) en donde señala que: “La tecnología significa el paso de un modo simple de comportamiento racional a un complejo institucional en el que la planificación, la innovación y el control ya no son patrimonio de personas particulares sino en cuanto estas forman parte de instituciones. Las diferencias están en la escala, en la división social del trabajo, en la composición de los planes, en el conocimiento incorporado y en la complejidad del sujeto que produce la tecnología”. En Fernando Broncano (2000): *Mundos artificiales. Filosofía del cambio tecnológico*.

caballo entre el subsistema de agencia humana no institucional y el complejo institucional. En este mismo nivel básico he situado a las organizaciones de usuarios, para dar presencia a la comunidad de usuarios (COUti) en tanto los usuarios contribuirían a las especificaciones del diseño ingenieril (*cf.* Broncano, 2000: 141), y también por cuanto, como usuarios de los sistemas tecnológicos o consumidores de productos (bienes y servicios), tienen una presencia –ya institucionalmente– en la columna de los complejos institucionales de gestión.

Una determinada complejidad tecnológica ya requiere de un sujeto colectivo, como “agente responsable de acciones que son realizadas y evaluadas en forma cooperativa. [De modo que] las actividades de los individuos se organizan en estas empresas complejas porque se realizan en el marco de instituciones industriales, económicas, de investigación, jurídicas, de mercado, y muchas otras que crean el medio en el que puede desarrollarse la tecnología.”(Broncano, 2000: 141).

La representación del subsistema óntico del complejo institucional tiene una estructura de niveles complejidad óntica: el nivel 1 o de sistemas, para las instituciones, pasando por el de redes de sistemas (nivel 2), hasta el nivel (3) de sistemas complejos, y terminando en el más alto, el de redes de sistemas complejos (nivel 4), para las redes de sistemas institucionales.

Esta serie de complejidad creciente se corresponde con cuatro columnas principales que responden a las cuatro subcomunidades profesionales ingenieriles y al sistema ingenieril a que se refieren: académica o docente, en relación con el sistema funcional praxiológico docente; de investigación o cambio tecnológico, en relación con el sistema funcional praxiológico de cambio; de producción, en relación con el sistema funcional praxiológico productivo; y de gestión y control, en relación con el sistema complejo ingenieril.



5.1.3.a) Subsistema ontológico material (iii) del complejo institucional de la ingeniería

En este subsistema ontológico material se parte de las instituciones como elementos característicos de niveles complejos de tecnologías. Así encontramos un primer nivel de complejos institucionales, como instituciones: académicas (CIN¹-Ati), donde se encontrarían las universidades y dentro de ellas las escuelas técnicas de ingeniería; complejos institucionales de investigación para el cambio tecnológico (CIN¹-Cti) como laboratorios, grupos o centros de investigación; complejos institucionales de producción (CIN¹-Pti) como empresas industriales y de servicios; y complejos institucionales de gestión (CIN¹-Gti) como entidades de la administración sectorial pública³⁴⁰ y entidades privadas. Como se observa en la representación, el complejo institucional de gestión está situado por encima del resto, debido a que –como se ha dicho– su objeto de gestión y control sería todo el sistema complejo ingenieril, y no solamente como en los tres anteriores, de los correspondientes sistemas praxiológicos ingenieriles.

A partir de este nivel primero, de instituciones³⁴¹, he situado un nivel 2 en donde figuran las redes de instituciones, que son formas de transición (en términos de complejidad) o de configuración alternativa, situadas entre las instituciones (nivel 1) y los sistemas institucionales (nivel 3), más formalizados. Las redes institucionales son entonces complejos institucionales poco formalizados, donde se observa cómo el sujeto colectivo está formado a partir de instituciones que trabajan, voluntariamente, de forma conjunta y cooperativa. En este segundo nivel de complejidad se encuentran: redes académicas de ingeniería (CIN²-Ati), que están típicamente representadas a través de redes de profesionales y publicaciones científico-tecnológicas; redes de investigación de ingeniería (CIN²-Cti) como son agrupaciones o redes de investigación nacionales e internacionales; redes de producción ingenieril (CIN²-Pti) como pueden ser las comunidades de productores³⁴² o los *cluster* empresariales; y redes de gestión-control del complejo ingenieril (CIN²-Gti), como es el objeto de diversas fundaciones público-privadas, academias ingenieriles³⁴³ y asociaciones transversales³⁴⁴.

Como se pone de manifiesto en la representación, desde el nivel (1) de instituciones puede pasarse al nivel (2) de redes de instituciones, pero también puede pasarse directamente al nivel (3) de sistemas de instituciones. Esto sirve para señalar que el nivel 2 y el nivel 3 son dos formas distintas de interrelación de instituciones, y que el nivel 3 se forma también a partir de instituciones, no de redes de instituciones. Mientras que el nivel 2 es más informal, el nivel 3 está más formalizado, hasta el punto de que la participación de las instituciones no es voluntaria sino obligatoria, dotando a ese nivel 3 de legitimidad oficial institucional. Esto ocurre claramente con el sistema universitario (CIN³-Ati) respecto a las titulaciones que habilitan para el ejercicio profesional de la ingeniería. Algo semejante pasa para el sistema público³⁴⁵ y para el sistema privado de financiación pública de I+D+i de la ingeniería (CIN³-Cti). Características análogas se encuentran en el sistema institucional productivo (CIN³-Pti),

³⁴⁰ Como pueden ser, por ejemplo, las administraciones en el ámbito territorial local o regional de: servicios urbanos, energía, extracción de recursos, construcción, producción industrial, protección ambiental o salud pública.

³⁴¹ De acuerdo con Broncano (2000: 142), la idea de institución, además de tratar de un sujeto colectivo que actúa de forma conjunta cooperativa, supone la existencia de una serie de reglas y convenciones, de “la existencia de patrones y de normas de acción estables”.

³⁴² Estas comunidades, como es el caso de la ‘comunidad portuaria’, es una red de agentes económicos y de gestión que colaboran en la generación de actividad de una infraestructura de la ingeniería civil.

³⁴³ Entre este tipo de redes pueden considerarse las academias de ingeniería, puesto que su ámbito de ocupación se refiere al total del sistema complejo ingenieril e incluye aspectos académicos, de investigación y profesionales productivos, entre otros, poniendo como ejemplos: Real Academia de Ingeniería de España (RAI) o Royal Academy of Engineering (RAEng).

³⁴⁴ Como ejemplo de estas asociaciones transversales a la ingeniería puede mencionarse la Asociación Nacional para la Normalización (AENOR) con el objeto de crear e impulsar el uso de normas técnicas.

³⁴⁵ Valga como ejemplo: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España.

dividido según sectores productivos y ámbitos geográficos³⁴⁶, y especialmente en materias reguladas de interés general (energía, transportes, servicios urbanos...). En el sistema institucional de gestión y control ingenieril (CIN³-Gti) se encontrarían, entre otros, aquellos complejos institucionales que resultan de la integración de instituciones de administración de competencias³⁴⁷ en materia de actividades ingenieriles (energéticas, industriales, hidráulicas, ambientales, marítimas, mineras, agrícolas, aeroespaciales...).

Finalmente, en el mayor nivel (4) de complejidad óptica del complejo institucional se sitúan las redes de sistemas institucionales. Son sujetos colectivos de la acción tecnológica ingenieril que se forman por agrupación voluntaria de diferentes sistemas institucionales del nivel 3, y por tanto de sistemas institucionales típicamente estatales, por lo que el nivel 4 es normalmente de ámbito supranacional. Entonces, la acción voluntaria conjunta y cooperativa de los sujetos colectivos del nivel 4 está habitualmente vinculada a acuerdos o convenios internacionales. Esto ocurre con la red de sistemas universitarios (CIN⁴-Ati) de la Unión Europea con el plan Bolonia para las diferentes titulaciones en ingeniería. De forma semejante pasa con las redes de sistemas de investigación (CIN⁴-Cti), como puede ser el Instituto Europeo de Innovación y Tecnología (EIT) de la Unión Europea³⁴⁸.

También en el ámbito de la producción ingenieril se observa la existencia de complejos institucionales formados por redes de sistemas institucionales productivos (CIN⁴-Ptí), donde pueden encontrarse desde asociaciones sectoriales internacionales³⁴⁹ hasta alianzas estratégicas de producción³⁵⁰. Finalmente estarían las redes de sistemas institucionales de gestión y control de tecnologías ingenieriles (CIN⁴-Gti), en donde se incluyen diferentes organizaciones internacionales, como por ejemplo el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). En este nivel también podrían incluirse algunas de las organizaciones internacionales que incluyan redes de instituciones (nivel 2), que tengan carácter oficial y reconocido, como por ejemplo Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization, ISO).

A partir de lo expuesto pueden identificarse, al menos, el conjunto de componentes del subsistema óptico del complejo institucional de la ingeniería (*SON(iii)-CINti*):

$$C_SON(iii)-CINti = < CIN^0-COPti, CIN^{1-4}-Ati, CIN^{1-4}-Cti, CIN^{1-4}-Ptí, CIN^{1-4}-Gti >$$

donde,

CIN⁰-COPti : institucionalidad de las comunidades profesionales ingenieriles, como nivel 0 de complejidad óptica de este subsistema;

CIN¹⁻⁴-Ati : complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de la actividad académico-docente;

³⁴⁶ Ya desde el siglo XX en muchos países, y en España hasta hace pocos años, las Cámaras Oficiales de Comercio e Industria (y Navegación, en su caso), como corporaciones de derecho público, reunían por definición a la totalidad de los operadores económicos sectoriales de un determinado ámbito territorial.

³⁴⁷ En relación con las competencias de administración local o regional, de instituciones del nivel 1, estas corresponderían al ámbito y alcance de las competencias estatales.

³⁴⁸ EIT tiene como objetivo reunir agentes de la educación, investigación y de la empresa para crear asociaciones multinacionales dinámicas, en lo que denomina ‘Comunidades de Conocimiento e Innovación’ (CCI). Véase: www.eit.europa.eu

³⁴⁹ En las redes de complejos institucionales productivos, una vez que están ‘acomodados’ los posibles conflictos de interés económico, se produce una amplia difusión tecnológica, especialmente en la parte de las tecnologías comercializables. Por este motivo conviene diferenciar bien este tipo de redes sectoriales productivas, de difusión de tecnologías disponibles, de las redes académicas y de las de investigación.

³⁵⁰ Dentro del campo de la ingeniería industrial, el sector del automóvil es un ejemplo bien conocido de las alianzas estratégicas internacionales e intercontinentales de producción.

CIN¹⁻⁴-Cti : complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de las actividades de cambio o I+D+i ingenieriles;

CIN¹⁻⁴-Pti : complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de las actividades productivas ingenieriles;

CIN¹⁻⁴-Gti: complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de las actividades de gestión y control del sistema complejo ingenieril.

5.1.4 Subsistema óptico ingenieril (iv): toposistema del sistema situado

Como puede observarse en la representación conjunta del sistema óptico material, mientras que los tres subsistemas anteriores tienen sus espacios bien definidos, en donde se permiten incluso ciertos solapamientos, el subsistema (iv) aparece como fondo, de modo que completaría el espacio de componentes del sistema resultante. Esto sugiere la idea de que ese subsistema estaría formado por nuevos componentes incorporados al sistema óptico original (sobre el que se produce la acción transformadora ingenieril). Esta idea surge a partir de las reflexiones de Broncano (2005: 106):

La aparición de los sistemas cibernéticos ha dado paso a una nueva clase ontológica: los sistemas adaptativos, los sistemas que transforman el medio al tiempo que el medio los transforma. Son sistemas cibernéticos que no pueden ser estudiados sino en su entorno: son sistemas situados. Todos los seres vivos pertenecen a esta clase. Pero también pertenecen a ella muchos sistemas técnicos y muchos sistemas sociales, y, por supuesto, muchos sistemas sociotécnicos (un hospital, una factoría, etc.). Son sistemas que transforman el entorno autotransformándose y creando nuevos entornos en los que continúa la dialéctica.

Dada la condición de ‘sistema situado’ del sistema óptico material en donde se produce la acción transformadora ingenieril, parece adecuado que esa condición de situado (referido a un determinado ‘territorio’) quede también reflejada en la representación general del sistema óptico material ingenieril. Este ‘territorio’ excluiría los componentes identificados en los subsistemas de agencia humana, artefáctico y del complejo institucional. Este territorio se refiere al resto de los componentes (creados o transformados), por lo que podría incluir: población afectada, los artefactos o sistemas artefácticos del entorno, elementos del supersistema social y, señaladamente –para aquellas ingenierías más ‘materiales’, como la civil, minera, ambiental, agroforestal, o urbana– elementos del supersistema ecológico. Creo que una denominación adecuada para este conjunto de elementos podría ser la de ‘toposistema’, pudiendo englobarse –dentro del sistema óptico material ingenieril– como toposubsubsistema óptico ingenieril.

Antes de nada, y dada la novedad de la propuesta, creo importante hacer una observación. En cierto modo, este toposistema, como medio del sistema óptico preexistente a la acción transformadora ingenieril, podría considerarse como ‘entorno’ de ese sistema. Y esto es así en cierto modo, pero sólo si no hubiera acción ingenieril transformadora. Porque lo que sostengo es que la acción ingenieril activa (o reactiva) una serie de elementos del entorno (E) del sistema origen, de modo que por esa misma acción pasan a ser desde ese momento componentes (C) del sistema creado o transformado.

Como en los tres subsistemas anteriores, la descripción de componentes potenciales es abundante, pero teniendo en cuenta que los componentes finales del sistema óptico de una determinada ingeniería serán finalmente los que resulten al ser ‘situado’, una vez que se tenga en cuenta la determinada disciplina ingenieril, así como su entorno geográfico de referencia y su cronología de referencia.

Pueden destacarse como principales grupos componentes (TOP) de este subsistema (iv) los entornos (E) incorporados como componentes (C) de los diferentes subsistemas considerados, lo que nos lleva a considerar elementos como: a) comunidad de población afectada (positiva o negativamente), y especialmente en su entorno habitacional urbano, así como distintas comunidades profesionales; b) nuevos artefactos y sistemas artefacticos, incluyendo el ‘medio construido’; y c) distintos componentes del complejo institucional. Además, pueden considerarse –específicamente como base biofísica territorial– los componentes incorporados del ‘medio natural’ o sistema ecológico.

Esto permite diferenciar cuatro grandes grupos de componentes para el subsistema (iv), como son: componentes de población y comunidades humanas (TOP-POB); componentes artefacticos (TOP-ART); componentes institucionales (TOP-CIN); y componentes del sistema ecológico (TOP-ECO). A diferencia del resto, los componentes del sistema ecológico no han tenido presencia hasta el momento en el sistema óptico de la ingeniería, y además forman parte de un supersistema de enorme importancia, por lo que resulta de interés considerar sus clases y múltiples niveles ópticos. Al apelar al sistema ecológico, se observa que puede también tener interés diferenciar entre lo que sería el medio natural –básicamente coincidente con el sistema ecológico– y el medio construido, que es una denominación común que se contrapone al medio natural, para referirse al medio no natural, artefactico, orientado a la habitación y actividades humanas, como es el caso de la ciudad. Este ‘medio construido’ caería, en su caso, dentro del conjunto artefactico ‘construido’ (TOP-ARTcon), con el caso particular de la ciudad (TOP-ARTurb). Aunque este caso de la ciudad como toposistema, dada su importancia para algunas especialidades ingenieriles, en particular para la ingeniería ambiental sanitaria, va a tener posteriormente un detallado tratamiento.

A partir de lo que se ha desarrollado, se elabora una representación de los distintos grupos de componentes del subsistema tópico.

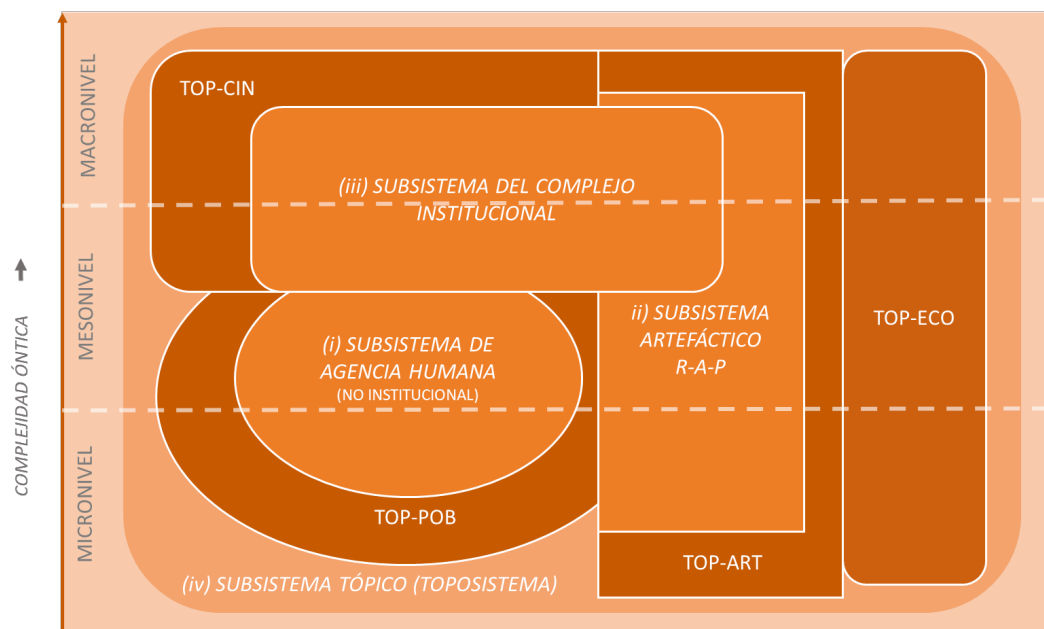


Fig. 5.1.4.a) Grupos de componentes del subsistema óptico (iv) o toposistema

A partir de lo expuesto, puede considerarse, dentro del sistema óptico de la ingeniería, al subsistema (iv) tópico (*SON-TOPti*) como:

$$SON(iv)-TOP_{ti} = \langle TOP-POB, TOP-ART, TOP-CIN, TOP-ECO \rangle$$

donde,

TOP-POB : componentes poblacionales incorporados por transformación ingenieril, incluyendo específicamente la población afectada (TOP-POBafe);

TOP-ART : componentes artefacticos incorporados por la transformación ingenieril, incluyendo específicamente el ‘medio construido’ (TOP-ARTcon), y la ciudad como medio (TOP-ARTurb);

TOP-CIN : componentes institucionales incorporados por transformación ingenieril, procedentes de sistemas sociotécnicos del supersistema social (S^2SOC) o más particularmente del sistema cultural (SOC_{cul}), sistema económico (SOC_{eco}) o sistema político (SOC_{pol});

TOP-ECO : componentes del medio natural o del supersistema ecológico (S^2ECO) incorporados por transformación ingenieril.

5.1.4.1 Medio natural del toposistema: componentes del supersistema ecológico

El supersistema ecológico aparece –naturalmente– como entorno general del sistema óntico material ingenieril. Pero, opcionalmente, algunos de sus elementos pueden ser de importancia relevante en la estructura del sistema óntico. Pueden estar, en cierto modo, internalizados: transformados de entorno (E) a componente (C) del sistema. Esto puede ocurrir en mayor o menor medida según la ingeniería de que se trate. Desde aquellas más materializadas y vinculadas al territorio, como podrían ser: ingeniería civil, ingeniería ambiental, ingeniería agronómica, o ingeniería forestal; hasta aquellas más desmaterializadas y deslocalizadas, como la ingeniería electrónica o informática.

En todo caso, y dada la importancia objetiva de este supersistema ecológico, he optado por hacer una descripción y representación básica del mismo. Un punto de partida que pueda servir, eventualmente, para su consideración como toposistema.

Como supersistema, el ecológico, se entiende que está formado por varios sistemas, que – por su naturaleza– son abarcales: sistemas físicos (SF) > sistemas químicos (SQ) > sistemas bioquímicos (SBQ) > sistemas biológicos (SB).

5.2 ENTRE EL MUNDO Y LA CULTURA INGENIERIL: SISTEMAS SEMIÓTICOS

En la representación general del sistema óntico de la ingeniería (*SONti*) ya se han incluido, como componentes especiales, tres grupos de sistemas semióticos³⁵¹. De ellos dos grupos serían de sistemas semióticos lingüísticos, entre los que se encontrarían los lenguajes naturales (*SLNti*) y los lenguajes formales (*SLFti*), y el tercero serían los sistemas semióticos gráficos (*SGti*). Con eso se ha avanzado algo muy importante para el modelo que se presenta, como es la propuesta de ver a los sistemas semióticos (de naturaleza dual, material-conceptual³⁵²) –operados por agentes de las comunidades profesionales ingenieriles– articulando una suerte de puente entre el sistema óntico concreto y los cuatro sistemas conceptuales (del conocimiento o epistémico, metodológico, axiológico y ético) de la ingeniería. Por este motivo, esos tres tipos de sistemas semióticos (*LN*, *LF* y *SG*) aparecen como componentes tanto del sistema óntico material, como de los diferentes sistemas conceptuales ingenieriles.

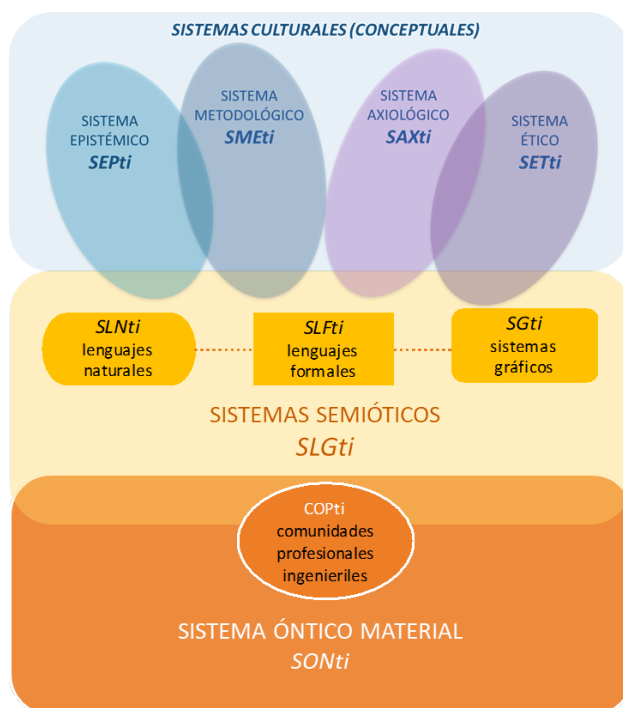


Fig. 5.2.a) Sistemas semióticos (*SLGti*) articulando el sistema óntico material (*SONti*), mediante las comunidades profesionales ingenieriles (*COPTi*), y los sistemas conceptuales ingenieriles

La tecnología ingenieril o ingeniería, como una actividad intensiva en conocimientos (como el resto de las tecnologías, y la ciencia en general), se caracteriza por eplear –con la mayor precisión y claridad, en lo posible– diversos tipos de sistemas semióticos, como lenguajes (naturales y formales) y sistemas de representación gráfica. Estos sistemas semióticos conforman una de las señas de identidad culturales que comparte la comunidad profesional

³⁵¹ Como tal, el sistema semiótico abarca: (i) la parte de los representamen o significantes o vehículos signícos (lo que se usa para representar); (ii) la parte de los contenidos o de las connotaciones; (iii) la parte de las referencias o de la denotaciones.

³⁵² En este punto conviene poner de manifiesto que estoy considerando lo ‘conceptual’ desde la faceta intersubjetiva, según la cual los conceptos son de índole abstracta, es decir, intensiones/significados/contenidos compartidos por los usuarios de un sistema semiótico -puede ser una lengua/lenguaje-. Esto supone asumir contenidos idealizados compartidos entre los usuarios de un sistema semiótico que se dan en un mundo de entidades abstractas y que posibilitan la comunicación.

ingenieril (COPTi), hasta el punto que la formación ingenieril incluye necesariamente el conocimiento, familiarización y adiestramiento con estos sistemas semióticos lingüísticos y gráficos ingenieriles (SLGTi).

Aunque se trata de sistemas semióticos diferentes, en la práctica los textos ingenieriles – como ocurre también con textos científicos– combinan variedad de lenguajes y sistemas gráficos, de modo que pueden considerarse textos ‘multisemióticos’³⁵³. Esta variedad de sistemas semióticos puede encontrarse combinada, por ejemplo, en el texto de cualquier manual de ingeniería, en donde a partir de una base de lenguaje natural (histórico) en un idioma determinado, se emplea una específica terminología ingenieril (mecánica, hidráulica, eléctrica...), acompañada de una de base científica (física, química, biológica...), junto con expresiones en lenguaje matemático (ecuaciones, estadísticos...) y simbólicas (formulación química...), junto con representaciones gráficas (diagramas, planos, mapas...). Este uso combinado de diferentes sistemas semióticos se observa tanto en los métodos ingenieriles (diseño³⁵⁴, pruebas, evaluación...) como en la documentación ingenieril de todo tipo (análisis, informes, estudios, proyectos...).

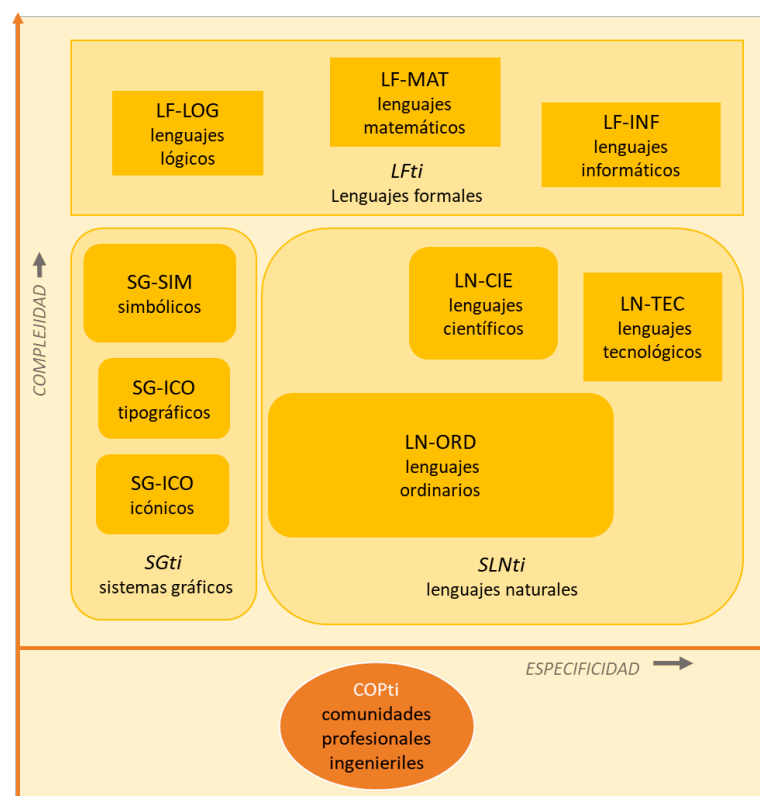


Fig. 5.2.b) Componentes de los sistemas semióticos de la ingeniería (SLGTi), incluyendo las COPTi

³⁵³ Estoy ampliando a la ingeniería la noción de textos ‘multisemióticos’ que ya se ha puesto de manifiesto en numerosos textos de diferentes disciplinas científicas, como puede verse en Parodi (2010) “Multisemiosis y lingüística de corpus: artefactos (multi)semióticos en los textos de seis disciplinas”, *Rev. lingüística teórica y aplicada*. En este trabajo, el análisis de textos multisemióticos se refiere a cuatro sistemas semióticos: verbal, gráfico, matemático y tipográfico; de cuya combinación resultan nueve ‘artefactos multisemióticos’: esquema, figura geométrica, fórmula, gráfico estadísticos, icono, ilustración, mapa, red composicional y tabla.

³⁵⁴ Véase, por ejemplo, en *Engineering Philosophy* de Bucciarelli (2003: 15-21) sobre el análisis de diferentes lenguajes combinados en el proceso de diseño ingenieril.

En este conjunto variado de lenguajes y sistemas gráficos de la ingeniería (*SLGti*), pueden observarse tres grupos diferenciados de sistemas semióticos que permiten, en mi opinión, avanzar más en la elucidación de estos sistemas: (i) lenguaje natural verbal o lenguajes de base natural (inglés, francés, castellano...) especiales o especializados (en campos científicos, tecnológicos e ingenieriles); (ii) lenguajes formales, como lenguajes artificiales con alto grado de abstracción (lógico, matemático, informático...); y (iii) sistemas gráficos, icónicos o simbólicos como lenguajes artificiales icónicos y de representación gráfica (dibujos, diagramas, figuras, topográficos, cartográficos...).

Entonces, puede avanzarse una caracterización del conjunto de sistemas semióticos de lenguajes y sistemas gráficos ingenieriles (*SLGti*) como:

$$SLGti = < SLNti [ORD, CIE, TEC], SLFti [LOG, MAT, INF], SGti [ICO, SIM, TIP] >$$

donde,

SLNti : lenguajes naturales de la ingeniería, como sistemas semióticos lingüísticos, pudiendo diferenciar entre ordinarios (ORD), científicos (CIE) o tecnológicos (TEC);

SLFti : lenguajes formales de la ingeniería, como sistemas semióticos lingüísticos, diferenciando entre lenguajes lógicos (LOG), matemáticos (MAT) e informáticos (INF);

SGti : sistemas gráficos de la ingeniería, como sistemas semióticos, pudiendo diferenciar entre icónicos (ICO), simbólicos (SIM) y tipográficos (TIP).

De acuerdo con los tipos de sistemas semióticos, tanto lingüísticos como gráficos, se puede seguir una ruta de elucidación –como la que se muestra– para llevar a un análisis más detallado de los distintos sistemas semióticos involucrados, de forma conjunta en la mayor parte de los casos, en las manifestaciones culturales de la ingeniería, a través de los sistemas: de conocimiento o epistémico, metodológico, axiológico y ético. Por su importancia en la ingeniería, este análisis se desarrolla con más profundidad, identificando los componentes (C), entorno (E) y estructura (S), para los sistemas de lenguajes naturales (*SLNti*), lenguajes matemáticos (*SLF-MATti*), lenguajes informáticos (*SLF-INFti*) y sistemas gráficos simbólicos (*SG-SIMti*).



Fig. 5.2.b) Ruta general de elucidación: sistemas semióticos del sistema complejo ingenieril (S^2ING)

5.2.1 Lenguajes naturales especializados de tecnologías ingenieriles (*SLNti*)

Puede suponerse fácilmente que los miembros de la comunidad profesional ingenieril disponen, previamente su pertenencia a la misma, de un lenguaje natural (ordinario) de comunicación. Esto mismo puede extenderse al inicio (y subsiguiente desarrollo) de

especialización de la comunidad ingenieril, en donde los miembros de la misma van incorporando progresivamente terminología específica, que procede tanto de los campos científicos de base (ej. física, química, biología...), como especialmente de la esfera de conocimientos prácticos y teóricos de tal disciplina ingenieril. Se estaría de este modo, contribuyendo a colocar los elementos lingüísticos en un sistema epistémico (*cfr.* Bunge, 2004: 87).

Así, el corpus lingüístico ingenieril se va incrementando en número de elementos, mientras que se va haciendo más específico, según –en un proceso de realimentación– se va desarrollando su sistema epistémico. Pero también, podría decirse lo mismo –de acuerdo con el modelo de elucidación que se está desarrollando– para las formulaciones del sistema metodológico, para las del sistema axiológico, para las del sistema ético, y para las del sistema ontológico material de la ingeniería.

Entonces, un lenguaje natural especializado ingenieril parte de la base de un lenguaje natural moderno, en donde se va produciendo fenómenos de sustitución e incorporación de nuevos elementos lingüísticos (voces o proferencias, o unidades lingüísticas más complejas). Por supuesto, se mantienen los símbolos –como componentes básicos del lenguaje– y se conserva tanto la sintaxis como las relaciones lógicas entre los conceptos designados por los diferentes elementos lingüísticos (*cfr.* Bunge, 2004: 88).

El lenguaje natural, en tanto sistema semiótico, responde a una suerte de ‘estratificación’ de complejidad³⁵⁵ en niveles léxicos, de los elementos lingüísticos (*cfr.* Bunge, 2004: 78). Ahora, mientras los niveles inferiores incluyen solamente componentes, a partir del nivel 3 ya podrían considerarse –dado el caso– como componente-sistema.

Como se observa en Bunge (2004: 78), el nivel léxico inferior (0) estaría representado por los módulos más sencillos, como las letras o los números (módulos alfanuméricos). El siguiente nivel léxico (1) sería el de la palabra, todavía solo como componente del sistema semiótico. De ahí en adelante, los niveles ya responderían a sistemas semióticos: (2) frase; (3) enunciado, pregunta, orden; y (4) texto.

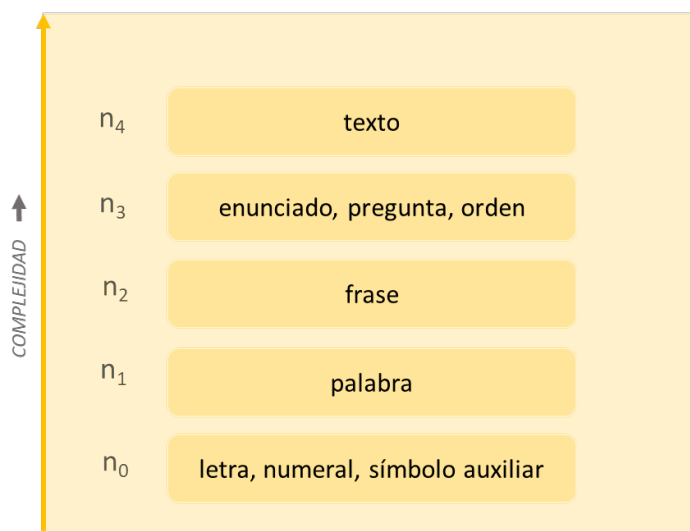


Fig. 5.2.1.a) Cinco niveles léxicos y categorías correspondientes (a partir de Bunge, 2004: 78)

³⁵⁵ La estratificación de niveles de complejidad de componentes en un mismo sistema responde a la cuarta propiedad general sistémica (*cfr.* Laszlo, 1972): ‘holon’, o delta.

No obstante, esta propuesta de niveles léxicos y categorías correspondientes de Bunge, presentaría algunos aspectos que pueden ser discutibles y revisables ³⁵⁶ como: la diferenciación entre ‘frase’ y ‘enunciado, pregunta, orden’; la preferencia por el término ‘oraciones’ en vez de ‘frase’; la conveniencia de presentar como tipos de oraciones (enunciativas, interrogativas o imperativas); la consideración de los numerales como un tipo de palabras; la posibilidad de prescindir del nivel de letras y símbolos auxiliares; o poner de manifiesto que los niveles desde las palabras hasta los textos tienen contenido (intersubjetivo). A partir de estas observaciones, puede representarse lo que sería una propuesta modificada de los niveles léxicos y categorías correspondientes de componentes de un lenguaje natural.

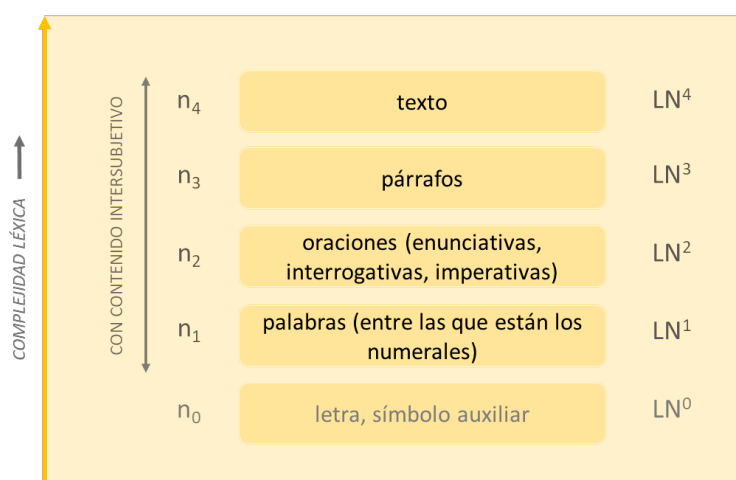


Fig. 5.2.1.b) Niveles léxicos y categorías de componentes de un sistema semiótico lingüístico natural (SLN)

El sistema semiótico del lenguaje natural ingenieril (*SLNti*) se compondrá entonces de un conjunto de elementos componentes, de distintos niveles léxicos, procedentes en su mayor parte de un lenguaje natural ordinario (LN-ORD), así como de lenguajes naturales científicos (LN-CIE) y de lenguajes naturales tecnológicos (LN-TEC).

Así, el lenguaje natural ingenieril (*SLNti*), en tanto sistema semiótico ³⁵⁷, tendría como componentes (C) un agregado de elementos lingüísticos de distintas procedencias. En primer lugar, están los elementos más sencillos, los caracteres alfanuméricos, como componentes de lenguaje natural en el nivel léxico 0, por lo que pueden representarse como LN⁰. Este nivel es básico para el conjunto de lenguas naturales que comparten caracteres alfanuméricos, lo que pasa con las lenguas modernas euroamericanas (inglés, francés, castellano...). Estos componentes del nivel 0 son los constituyentes básicos del lenguaje natural ordinario, que se sitúa como raíz de lenguajes naturales especiales, como son el científico y el tecnológico.

³⁵⁶ Lo que ha sido señalado expresamente por J.L. Falguera (2020, com. personal), posibilitando así una revisión de la figura y por tanto de los contenidos del modelo del sistema de lenguaje natural en cuanto a niveles y contenidos, como se representa en la siguiente figura.

³⁵⁷ Sigo, como se ha indicado antes, el modelo de Bunge (2004: 87), en que sostiene que todo lenguaje (natural o diseñado) es un sistema semiótico con una composición (colección de signos artificiales, símbolos), un entorno (colección de elementos naturales y sociales, en particular culturales) a los que se refieren las expresiones del lenguaje, y una estructura (relaciones sintácticas, semánticas, fonéticas y pragmáticas del lenguaje). En esta última se distinguirá entre endoestructura y exoestructura.

Puede denominarse este conjunto de componentes como LN^0 -ORDn, que sería el tipo base de caracteres alfanuméricos para un determinado lenguaje natural 'n'.

Cuando se asciende un nivel de complejidad léxica, los caracteres alfabéticos se agrupan para formar palabras, que deben corresponder a un determinado lenguaje natural, por ejemplo el castellano, de modo que podríamos hablar de palabras como componentes (LN^1 -ORDcas), pasando por niveles léxicos más complejos, hasta los textos (LN^4 -ORDcas). Claro que el lenguaje ordinario es necesario para alcanzar los niveles 3 y 4 de complejidad léxica en el lenguaje natural ingenieril, pero no es suficiente, puesto que para conformar el lenguaje natural ingenieril, característico de una determinada comunidad profesional ingenieril (COPTi), deben sumarse necesariamente componentes propios de lenguajes científicos y, singularmente, del lenguaje tecnológico ingenieril.

Entonces, a los componentes del lenguaje ordinario se le suman componentes de los niveles léxicos 1-3 procedentes de disciplinas científicas relacionadas con la ingeniería, como sería la física, la química o la geología. Por ejemplo, una palabra (o grupo de palabras) procedente de la física, podría denominarse como LN^1 -CIEfis; mientras que unos párrafos de referencias de química en un manual de ingeniería se identificarían como LN^3 -CIEqui.

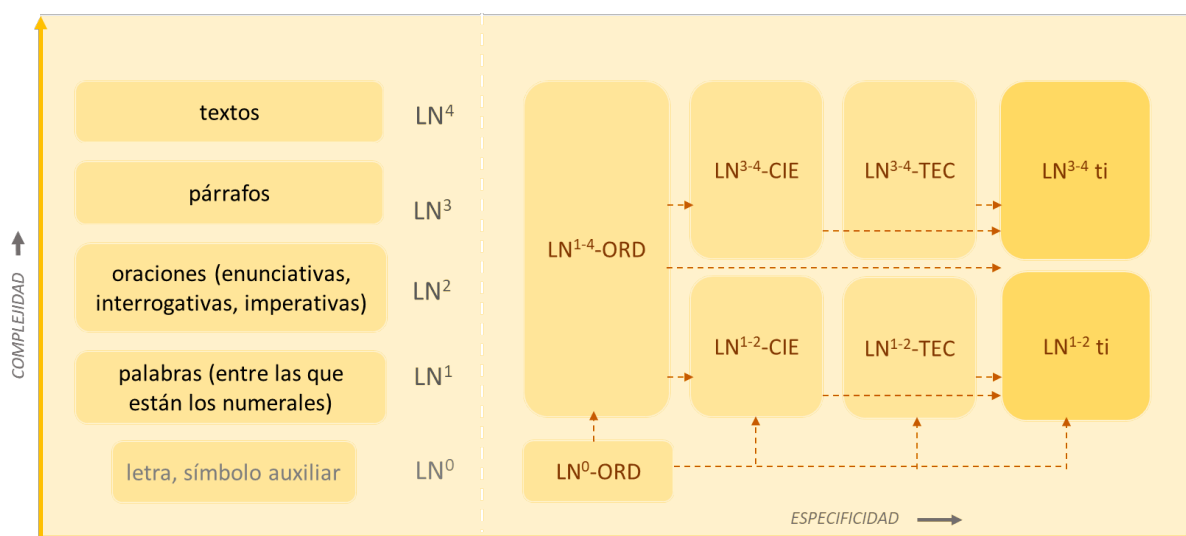


Fig. 5.2.1.c) Conjunto de componentes de niveles léxicos (0-4) del lenguaje natural ingenieril (SLNti), incluyendo procedentes de lenguaje natural ordinario (LN-ORD), científico (LN-CIE) y tecnológico (LN-TEC)

Pero los componentes más importantes, que contribuyen a la especificidad del lenguaje natural ingenieril, vienen de las tecnologías ingenieriles y corresponden a diferentes disciplinas ingenieriles (civil, industrial, telecomunicaciones...). Estos componentes van desde el nivel léxico de vocablos sencillos (LN^1 -TECing), pasando por enunciados o formulaciones, hasta textos que pueden llegar a entenderse como obras completas (LN^4 -TECing). Los componentes de los niveles léxicos inferiores (1 y 2) tienen una notable importancia puesto que incluyen, por así decirlo, el sustrato terminológico característico de la ingeniería en general, y de las disciplinas ingenieriles, en particular.

A la hora de determinar cuáles son los componentes más relevantes del conjunto del lenguaje natural ingenieril, puede acudirse –de acuerdo con los niveles de detalle de la investigación del lenguaje– a los contenidos en glosarios o bien diccionarios de ingeniería,

generalistas³⁵⁸ o especializados³⁵⁹. Unas fuentes documentales que reúnen un conjunto de elementos lingüísticos (terminología especializada) que tanto denotan objetos materiales (del mundo material ingenieril) como designan conceptos (de la cultura ingenieril: epistémica, metodológica, axiológica y ética).³⁶⁰

Así, el conjunto de componentes (C) del lenguaje natural ingenieril (*SLNti*) serían:

$$C_SLNti = < COPTi, LN^0-ORDn, LN^{1-4}-ORDn, LN^{1-3}-CIEn, LN^{1-4}-TECn >$$

donde,

COPTi : comunidades profesionales de la ingeniería, formadas por agentes humanos intencionales capaces de compartir determinados lenguajes;

LN⁰-ORDn : componentes de nivel léxico 0, caracteres alfanuméricos de un tipo n;

LN¹⁻⁴-ORDn : componentes de lenguaje natural ordinario desde nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 4, correspondientes a un mismo idioma n (ej. castellano, inglés...);

LN¹⁻³-CIEn : componentes de lenguaje natural especial científico, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 3, correspondientes a 'n' como una o varias disciplinas científicas;

LN¹⁻⁴-TECn : componentes de lenguaje natural especial tecnológico, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 4, correspondientes a 'n' como una o varias disciplinas tecnológicas ingenieriles.

El entorno (E) de lenguaje natural ingenieril será –siguiendo el modelo bungeano– la colección de elementos naturales y sociales a los que se refieren las expresiones del lenguaje. Aquí se pone de manifiesto claramente la función puente (material-conceptual) del lenguaje natural ingenieril entre la comunidad profesional ingenieril, por una parte, y por otra parte tanto el resto del mundo material ingenieril (sistema óptico material ingenieril) como la cultura ingenieril (sistemas epistémico, metodológico, axiológico y ético) y la práctica ingenieril (sistemas funcionales praxiológicos ingenieriles). Todos estos serían, en mi opinión, los elementos que constituyen el entorno próximo del sistema lenguaje natural ingenieril (*SLNti*).

También puede considerarse como entorno menos próximo, tanto el supersistema social (con sus sistemas político, económico y cultural), como el supersistema ecológico (con la salvedad de aquellos sistemas que estén más directamente relacionados con la terminología ingenieril, por razón del tipo ingenieril, como la ingeniería minera, en cuyo caso estarían integrados en el sistema óptico material, y podrían considerarse como de entorno próximo).

Respecto a la estructura del lenguaje natural ingenieril, se consideran las relaciones sintácticas, semánticas y pragmáticas que se dan entre los componentes del sistema y entre los componentes y el entorno del sistema. Las primeras (C-C), que forman la estructura interna o endoestructura son, como ya se ha citado, la sintaxis del lenguaje (incluyendo la interconexión de los niveles léxicos) más las relaciones entre los conceptos designados.

³⁵⁸ Puede tomarse como ejemplo de referencia, que se utilizará más adelante: Diccionario de la Real Academia [Española] de Ingeniería (DRAI).

³⁵⁹ Sirva como ejemplo, que se utilizará más adelante: Bahadori, A. & Smith, S.T. (2016) *Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment*, Springer.

³⁶⁰ Sin embargo, como puede observarse en la práctica totalidad de este tipo de obras, ni se especifica la naturaleza (material o conceptual) de la entidad tratada, ni tampoco se pone de manifiesto en qué campo (epistémico, metodológico o ético-axiológico) podría encuadrarse, en su caso, una determinada entidad conceptual. En mi opinión, estas clasificaciones adicionales podrían dar mayor valor a este tipo de diccionarios tecnológicos ingenieriles.

Por otra parte, la exoestructura del lenguaje, siguiendo a Bunge (2004: 88) “es la colección de relaciones que vinculan los signos de L [$LNti$] con el mundo (natural, social y cultural), en particular con la persona que habla y su interlocutor. Las relaciones de designación, denotación (o referencia), hablar y oír pertenecen a la exoestructura de un lenguaje: relacionan signos con conceptos y cosas concretas. En otras palabras, la exoestructura de un lenguaje es su contorno, o sea el puente entre el lenguaje y el mundo.”

De este modo, el sistema semiótico del complejo del lenguaje natural ingenieril ($SLNti$) puede caracterizarse, además de por componentes de las comunidades profesionales ingenieriles ($COPTi$), por una serie de componentes (C_SLNti), de entornos (E_SLNti) y de relaciones (S_SLNti).

5.2.2 Lenguajes formales, de alta abstracción, en ingeniería ($SLFti$)

Los lenguajes formales se caracterizan, respecto a los lenguajes naturales, por una mayor artificialidad y abstracción, como es el caso de los lenguajes lógicos, matemáticos e informáticos. Estos dos últimos son muy relevantes en las tecnologías ingenieriles. Como en el apartado anterior, en que se estudian los lenguajes como sistemas semióticos, tendré en cuenta para los distintos lenguajes: los componentes (C), conforme a una propuesta de escala de niveles léxicos; el entorno (E) y las relaciones (S) entre unos y otros que conforman tanto la endoestructura (C-C), como la exoestructura (C-E).

5.2.2.1 Lenguajes formales matemáticos ($SLF-MAT$) en la ingeniería ($SLF-MATti$)

Los lenguajes matemáticos están entre las herramientas más poderosas al servicio de las comunidades profesionales ingenieriles. Sirven a la configuración rigurosa del conocimiento ingenieril, puesto que posibilitan una descripción clara y precisa de los diferentes objetos y estados del sistema óntico material ingenieril; y son fundamentales en métodos ingenieriles como el cálculo, el diseño y el modelado (matemático).

Pueden señalarse diversas modalidades del lenguaje matemático empleadas frecuentemente en ingeniería: geometría ($LF-MATgeo$), álgebra ($LF-MATalg$), cálculo ($LF-MATcal$), estadística ($LF-MATest$) y modelización ($LF-MATmod$). Esta variedad de usos del lenguaje matemático en la ingeniería puede observarse, por ejemplo para la ingeniería ambiental, en Spellman & Whiting (2005): *Environmental Engineer's Mathematics Handbook*³⁶¹.

Los diferentes componentes (C) de los lenguajes matemáticos pueden distribuirse, de modo análogo a lo que hace Bunge (2004: 78) para lenguajes naturales, según niveles léxicos³⁶². Así, considero que el nivel 0 correspondería a los elementos alfanuméricos y símbolos especiales matemáticos, pudiendo identificarse como LF^0-MAT . En el nivel léxico siguiente (LF^1-MAT) estarían las constantes o variables respecto a un determinado valor o concepto matemático. El nivel 2 combinaría elementos de los niveles anteriores para formar una expresión matemática (LF^2-MAT). Estos componentes pueden relacionarse, mediante una expresión de igualdad, conformando una ecuación, que ya sería un componente-sistema (LF^3-MAT). Por encima de este nivel léxico, estaría el correspondiente a sistemas de ecuaciones, identificable como LF^4-MAT .

³⁶¹ Spellman, Frank R. & Whiting, Nancy E. (2005): *Environmental Engineer's Mathematics Handbook*, CRC Press, 644 pp.

³⁶² Para cada una de las modalidades de lenguajes matemáticos, podría identificarse componentes característicos de los niveles léxicos, por lo que he optado por una descripción bastante generalista, pero partiendo de la que podría ser para el lenguaje matemático algebraico ($LF-MATalg$).

Pero, si sólo se utilizan componentes específicos del lenguaje matemático (LF^n -MAT), queda limitado en gran medida la capacidad informativa del propio lenguaje, porque su alcance discursivo (del razonamiento matemático) es más limitado, y porque no llegaría más que a un colectivo muy reducido de la comunidad profesional ingenieril (COPTi). Por ello, el lenguaje matemático en el uso ingenieril viene acompañado de componentes de lenguajes naturales ($LNti^{0-3}$) y, frecuentemente, también de componentes propios de sistemas gráficos simbólicos (SG^{0-4} -SIMti).

En todo caso, el conjunto de los componentes del sistema semiótico de un lenguaje formal matemático de una ingeniería estaría formado por los siguientes grupos de componentes:

$$C_SLF-MATti = \langle COPTi, LF^{0-4}-MATx, LNti^{0-3}, SG^{0-4}-SIMti \rangle$$

donde,

COPTi : comunidades profesionales de la ingeniería;

LF^{0-4} -MATx : conjunto de componentes característicos, desde el nivel léxico 0 hasta el nivel léxico 4, de un lenguaje matemático 'x' o varios lenguajes matemáticos;

$LNti^{0-3}$: conjunto de componentes, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 3, de un lenguaje natural ingenieril;

SG^{0-4} -SIMti : conjunto de componentes, desde el nivel 0 hasta el 4, del sistema gráfico simbólico de la ingeniería.

Por otra parte, el entorno (E) del sistema (semiótico) del lenguaje formal matemático ($E_SLF-MAT$)³⁶³, está formado por los elementos (sistemas) naturales y socio-culturales a los que se refieren las expresiones de los componentes anteriores. Considero un entorno inmediato (E_{imm}), como en los lenguajes anteriores, a los sistemas (óntico material, epistémico, metodológico, axiológico, ético y praxiológicos) del sistema complejo ingenieril. Y, por otra parte, considero como entorno próximo (E_{prox}) a los sistemas entorno de los sistemas ingenieriles anteriores, así como –de forma general– al sistema cultural científico-matemático ($SOCcul-CIEmat$).

A su vez la estructura (S) del lenguaje formal matemático ($S_SLF-MAT$) estaría compuesta de una endoestructura, con las relaciones entre componentes (C-C), y de una exoestructura, de relaciones C-E. Se trata de relaciones informativas, singularmente de los tipos sintáctico (estructural), que explica la estratificación de los niveles léxicos de una misma modalidad de lenguaje, así como de relaciones semánticas, y pragmáticas descriptivas.

5.2.2.2 Lenguajes formales informáticos ($SLF-INF$) en la ingeniería ($SLF-INFti$)

Los lenguajes formales informáticos serían un tipo de lenguaje destinado a facilitar la comunicación (un flujo de información pragmática) de los seres humanos con dispositivos automáticos (por ejemplo, los incorporados en $ARTF^3$ -MECA) cuya función depende, siguiendo a Quintanilla (2005: 104) “de la información que a través de ellos se transmite o procesa” y, por supuesto, de la comunicación con artefactos informáticos ($ARTF^4$ -TIC).

Para la actividad ingenieril, pueden destacarse tres tipos de lenguajes formales informáticos ($LF-INF$): lenguajes informáticos de programación ($LF-INFpro$), lenguajes

³⁶³ En este punto, puede valorarse la oportunidad de que, para identificar entornos, se utilice una notación similar a la de los niveles de componentes. De modo que el entorno inmediato pueda denominarse como E^0 , el entorno próximo como E^1 , y los entornos más alejados como E^2 , y –eventualmente– otros niveles. En este caso, entonces, podría denominarse $E^0LF-MAT$.

informáticos de modelización (LF-INFmod), y lenguajes de marcado (LF-INFmar). La importancia relativa de cada uno de ellos, así como las modalidades específicas, van a depender de la disciplina ingenieril que se considere, y por tanto, de la cultura informática de la comunidad profesional ingenieril correspondiente.

Los lenguajes informáticos de programación pueden considerarse los más generales dentro del grupo de los lenguajes informáticos, hasta el punto de que es muy frecuente la asociación directa entre lenguajes informáticos y lenguajes de programación. Por esta razón los trato con mayor detalle que los otros dos, que me limito a identificar.

5.2.2.3 Lenguajes informáticos de programación en ingeniería (*SLF-INFpro-ti*)

Los lenguajes informáticos de programación tienen como objeto facilitar la comunicación de los seres humanos, en este caso de la comunidad profesional ingenieril, inicialmente con dispositivos automáticos, y en un sentido actualmente más amplio, con artefactos informáticos (ARTF⁴-TIC). Los diversos subtipos de lenguajes de programación usados en ingeniería (ej. Fortran, Java, Matlab o Python) responden a distintas necesidades prácticas de niveles de comunicación, en donde juegan distintas combinaciones entre los componentes humanos y componentes artefacticos. Sin embargo, se entiende que no es el objeto actual definir en detalle ninguno de los lenguajes que se mencionan como ejemplos, sino caracterizar, en la medida de lo posible, bajo el modelo CES de sistemas semióticos, un tipo genérico de lenguaje informático de programación que permite la intercomunicación entre el sistema óntico material (humano y artefactico) de la ingeniería, con los sistemas conceptuales ingenieriles, singularmente con el epistémico y el metodológico.

En primer lugar, pueden identificarse los componentes (C) específicos de un lenguaje de programación, buscando, por analogía con la propuesta para los lenguajes naturales de Bunge (2004: 78), sus diferentes niveles léxicos. Unos niveles léxicos que responden a un proceso de asignación de estructura básica del lenguaje, que parte de los elementos básicos (LF⁰-INFpro) en donde se incluyen símbolos alfanuméricos y símbolos especiales. La combinación de estos elementos permite establecer un nivel 1 (LF¹-INFpro) en donde aparecen datos o constantes, que pueden llegar a dar una estructura ‘simple’ al transformar el valor constante en una variable. De este modo se alcanza el nivel léxico 2 (LF²-INFpro), que podría incluir, además de variables, expresiones simples, contadores (verificador de número de veces de un proceso), acumulador (sumador de proceso). Mediante la agregación de elementos del nivel 2 puede obtenerse, por ejemplo, un resultado de operación matemática que involucra varias variables, y puede encadenar operaciones, y que sería ya un nivel 3 (LF³-INFpro) con los algoritmos como componentes-sistema característicos³⁶⁴. Desde este nivel se pasa al de programas (LF⁴-INFpro) también como componentes-sistemas, con una funcionalidad completa.

Para conformar el total de componentes de un sistema de lenguaje informático de la ingeniería, además de estos componentes, que serían los característicos de lenguajes informáticos de programación, se hacen necesarios otros componentes que proceden del sistema gráfico simbólico (flechas, diagramas...), del lenguaje natural, así como artefactos informáticos y, por descontado, miembros de la comunidad profesional ingenieril.

De este modo, el conjunto de los componentes de un lenguaje informático de programación ingenieril, a partir de la comunidad ingenieril, e incluyendo dispositivos informáticos, sería:

³⁶⁴ El nivel 3 del lenguaje de programación, con los algoritmos como componente característico del nivel, se podría correlacionar bien con los ‘enunciados’ y ‘órdenes’ del nivel léxico 3 del lenguaje natural de Bunge (2004: 78).

$$C_LF-INFpro-ti = \langle COPTi, ARTF^4-TIC, LF^{0-4}-INFpro-x, LNti^{0-3}, SG^{0-2}-SIMti \rangle$$

donde,

COPTi : comunidades profesionales de la ingeniería;

ARTF⁴-TIC : artefactos tecnologías de información del nivel óntico 4 (ordenadores...);

LF⁰⁻⁴-INFpro-x : conjunto de componentes característicos, desde el nivel léxico 0 hasta el nivel léxico 4, de un lenguaje informático de programación 'x';

LNti⁰⁻³ : conjunto de componentes adicionales, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 3, de un lenguaje natural ingenieril;

SG⁰⁻²-SIMti : conjunto de componentes adicionales, desde el nivel 0 hasta el 2, del sistema gráfico simbólico de ingeniería.

Por otra parte, el entorno (E) del sistema (semiótico) del lenguaje formal informático de programación (ELF-INFpro), está formado por los elementos (sistemas) naturales y socio-culturales a los que se refieren las expresiones de los componentes anteriores. Considero un entorno inmediato (E_{imm}), como en los lenguajes anteriores, a los sistemas (óntico material, epistémico, metodológico y praxiológicos) del sistema complejo ingenieril. Y, por otra parte, considero como entorno próximo (E_{prox}), en primer lugar a los sistemas axiológico y ético³⁶⁵, y además a los sistemas entorno de los sistemas ingenieriles anteriores, así como –de forma general– al sistema cultural informático (*SOCcul-TECinf*).

A su vez la estructura (S) del lenguaje formal informático de programación (*SLF-INFpro*) estaría compuesta de una endoestructura, con las relaciones entre componentes (C-C), y de una exoestructura, de relaciones C-E. Se trata de relaciones informativas, singularmente de los tipos sintáctico (estructural), que explica la estratificación de los niveles léxicos de una misma modalidad de lenguaje, e informativa pragmáticas descriptivas y, señaladamente, prácticas.

5.2.2.4 Lenguajes informáticos de modelización (*SLF-INFmod*) en ingeniería

La modelización matemática e informática ha adquirido una relevancia extraordinaria entre los métodos de modelización, como se verá en el apartado del sistema conceptual metodológico de la ingeniería. Estos métodos requieren de unos lenguajes de programación, esquemas lógicos y soportes muy específicos, que responden a las necesidades particulares de distintas disciplinas tecnológicas. Como puede verse, por ejemplo, para la ingeniería ambiental en: Nirmalakhandan (2002), *Modeling Tools for Environmental Engineers and Scientist*³⁶⁶; o en Spellman y Whiting (2005), *Environmental Engineer's Mathematics Handbook*.

En cierto modo, en la ingeniería, los lenguajes informáticos de modelización pueden considerarse como un caso particular de los lenguajes informáticos de programación (LF-INFpro) orientado al servicio del diseño y operación de modelos digitales de objetos y procesos ingenieriles. Por este motivo, el lenguaje informático de modelización tiene que tener capacidad para representar adecuadamente la ontología material particular (especialmente de los componentes artefácticos y componentes ecosistémicos) de la disciplina ingenieril correspondiente.

³⁶⁵ Dado que en los sistemas axiológico y ético ingenieriles no se emplean –por lo general– los lenguajes informáticos de programación, no lo he incluido en el entorno inmediato, pero sí se hace necesario que forme parte entonces del siguiente nivel de externalidad del entorno, en este que estoy considerando como entorno próximo.

³⁶⁶ Nirmalakhandan, N. (2002): *Modeling Tools for Environmental Engineers and Scientist*.

5.2.2.5 Lenguajes informáticos de marcado (*SLF-INFmar*) en la ingeniería

Los lenguajes informáticos de marcado están orientados a la codificación documental, careciendo –a diferencia de los lenguajes de programación y modelización– de funciones aritméticas o procesos con variables. Sirvan como ejemplos el lenguaje básico de marcado SGML (Standard Generalized Markup Language) o el lenguaje de marcado para hipertextos HTML (Hyper Text Markup Language). La comunidad ingenieril profesional utiliza estos lenguajes en métodos y actividades en donde la gestión de la documentación es especialmente relevante, y por tanto en donde característicamente, median artefactos informáticos, tanto del nivel óntico 4 como ordenadores y dispositivos informáticos (ARTF⁴-INF), como –para el caso del lenguaje HTML– la red internet (ARTF⁵-INF).

5.2.3 Sistemas de representación gráfica en ingeniería (*SGti*)

Una vez vistos los sistemas semióticos lingüísticos, el segundo grupo de sistemas semióticos de la ingeniería estaría constituido por los sistemas gráficos, que van a formar los sistemas semióticos gráficos de la ingeniería (*SGti*). Son sistemas semióticos en que la unidad básica del sistema son, bien signos artificiales icónicos o figurativos (como en el caso de la mayoría de las señales viales), o bien signos no icónicos específicos³⁶⁷, diferentes de los símbolos de los lenguajes naturales o formales, que no pueden leerse sin un código que les acompañe. Para estos últimos “piénsese en mapas, (...), gráficos, diagramas de circuitos, diagramas de organización y de flujo o incluso planos de arquitectura.” (Bunge, 2004: 84).

Esta diferente naturaleza de las unidades básicas, y de los niveles de mayor complejidad semiótica, permite distinguir hasta tres tipos de sistemas semióticos gráficos (de diseño) de la ingeniería. En primer lugar, estarían los sistemas gráficos icónicos (*SG-ICoti*), que se basan en signos icónicos (no simbólicos) que serían, con diferente grado de complejidad, artefactos materiales (*cfr.* Bunge, 2004: 84). Además del ejemplo anterior, de las señales viarias, pueden incluirse aquí representaciones figurativas, como bocetos o dibujos, que son habituales en fases tempranas del diseño ingenieril. Para cada subtipo de sistema gráfico icónico pueden describirse diversos niveles de complejidad, así como para los componentes puede identificarse su entorno (E), que va a ser principalmente el subsistema cultural (sistema *SOCcul*). Las relaciones que definen la estructura (S) (tanto interna como externa) entre estos elementos, son informativas, más concretamente de naturaleza sintáctica o estructural.

A su vez, dentro de los sistemas gráficos en la ingeniería, los otros dos subtipos serían el sistema gráfico no icónico, simbólico, de la ingeniería (*SG-SIMti*), y el sistema tipográfico empleado en los textos de ingeniería (*SG-TIPti*). El sistema tipográfico³⁶⁸ está reconocido en el estudio de textos científicos (*cfr.* Parodi, 2010), y de otros tipos, como pueden ser el tecnológico e ingenieril, pero su importancia en la elucidación filosófica es menor, por lo que me limito ahora simplemente a dar constancia del dicho sistema tipográfico.

En cambio, el sistema gráfico simbólico ingenieril (*SG-SIMti*) sí que tiene una relevante presencia en los métodos y procesos ingenieriles. Estos sistemas tienen sus propios elementos semióticos, diferentes de los de los lenguajes naturales y de los formales. Sin embargo, como

³⁶⁷ También podrían incluirse, entre los signos icónicos y los simbólicos (no icónicos), aquellos intermedios, como los ‘indicios’ de Peirce.

³⁶⁸ De acuerdo con Parodi (2010: 43) “el sistema tipográfico se constituye por la forma y color de las letras, el cual incluye –entre otros– negrita, cursiva, alta (mayúscula), baja (minúscula), color, dimensionalidad (uni, bi o tridimensionalidad. (...)) este sistema aporta un potencial de significado que –en conjunto con otros sistemas– puede llegar a transmitir de esta forma el significado global del texto.” En Parodi (2010) “Multisemiosis y lingüística de corpus”, *Rev. de lingüística teórica y aplicada*.

los símbolos no pueden leerse sin un código, es necesario que el sistema gráfico no icónico se acompañe de componentes (al menos del nivel 1 de complejidad léxica) de los lenguajes naturales. Esto ocurre, por ejemplo, con las leyendas que acompañan a los planos cartográficos. El sistema gráfico simbólico en la ingeniería permite atender a las necesidades de representación tanto de objetos como de procesos.

Para estos lenguajes gráficos simbólicos, dado que no están desarrollados en los niveles léxicos de Bunge (2004: 78), sugiero, muy tentativa y provisionalmente, una gradación de niveles semióticos basada en la dimensionalidad espacial (L) y temporal (T) de los elementos de representación gráfica.

De esta forma, el nivel semiótico 0 (SG^0 -SIMti) para los símbolos elementales que se combinan. En este caso, creo que la complejidad podría correlacionarse, en cierta medida, con las dimensiones que entran en juego en la representación gráfica, atendiendo a dimensiones espaciales (L) y la temporal (T). Así, las representaciones aproximadamente unidimensionales (línea de espacio o línea de tiempo) podrían entenderse como componentes del nivel 1, y así denominarse SG^1 -SIMti. El nivel 2 de complejidad (SG^2 -SIMti) podría reservarse para representaciones bidimensionales espaciales (L^2) o espacio-temporales (LT) (gráficos bidimensionales, diagramas de flujo...). Siguiendo, el nivel 3 de complejidad de los componentes (SG^3 -SIMti) acogería a las representaciones, sobre soporte bidimensional, que son proyecciones de objetos tridimensionales (planos de una infraestructura, cartografía...), y también las representaciones tridimensionales de plano y tiempo (L^2T). En el nivel superior, de cuatro dimensiones (L^3T) se daría lugar a componentes de nivel 3 situados en una flecha temporal, que se identificarían como SG^4 -SIMti.

Los sistemas gráficos simbólicos de la ingeniería (SG -SIMti), incluirían al menos la siguiente colección de componentes:

$$C_{SG-SIMti} = \langle COPTi, SG^0-SIMti, SG^1-SIMti, SG^2-SIMti, LN^{1-2}-ORDn, SG^3-SIMti, SG^4-SIMti \rangle$$

donde:

$COPTi$: comunidades profesionales de la ingeniería;

SG^0 -SIMti : componentes de nivel léxico 0 del lenguaje gráfico simbólico;

SG^1 -SIMti : componentes gráficos simbólicos unidimensionales (L o T);

SG^2 -SIMti : componentes gráficos simbólicos bidimensionales (L^2 o LT);

LN^{1-2} -ORDn : código o leyenda en lenguaje natural que acompaña a la figura;

SG^3 -SIMti : componentes gráficos tridimensionales proyectados (L^3 proyectado en L^2 o L^2T);

SG^4 -SIMti : componentes tetradimensionales, tipo L^3 proyectado en L^2 incluyendo la dimensión temporal (T).

Como entorno (E) de estos componentes pueden considerarse, en tanto entorno inmediato (E_{imm}), a los sistemas ontológico, epistémico y metodológico de la ingeniería. Como un entorno próximo (E_{prox}) puede pensarse en el sistema cultural ($SOCcul$).

5.3 CULTURA INMATERIAL INGENIERIL: SISTEMAS CONCEPTUALES DE LA INGENIERÍA

Una vez que se dispone de una descripción del mundo material de la ingeniería (sistema óntico material ingenieril, *SONti*), y de los sistemas semióticos (lingüísticos y gráficos) empleados en la ingeniería, como sistemas puente entre lo concreto y lo abstracto, puede darse paso a lo que reúno como cultura (inmaterial) ingenieril. La cultura ingenieril, que puede utilizar como base física los ejemplares de libros, de documentos, los soportes electromagnéticos de redes informáticas o los artefactos de todo tipo, remite en todo caso a procesos mentales de los individuos que forman parte de una comunidad profesional ingenieril (COPTi). De forma general, estos procesos mentales operan con constructos conceptuales (*cfr.* Bunge, 1980: 51) con cuatro niveles de complejidad: concepto < proposición < contexto abierto < contexto cerrado.

Puede establecerse una cierta correlación entre estos niveles de complejidad de los constructos y los niveles de complejidad en sistemas semióticos, como el lenguaje natural (LN), que ilustra esa función puente concreto-abstracto de los sistemas semióticos, esencial por completo al conjunto del modelo general que se está proponiendo.



Fig. 5.3.a) Correlación entre niveles léxicos de sistemas semióticos y clases básicas de constructos

Los cuatro³⁶⁹ sistemas conceptuales que propongo como componentes-sistema (*C_S*) de la cultura ingenieril serían: (i) sistema conceptual epistémico ingenieril (*SEPTi*), que daría cuenta, fundamentalmente a través de información pragmática representativa y descriptiva, de los saberes ingenieriles y sobre los objetos materiales; (ii) sistema conceptual metodológico ingenieril (*SMEti*), en donde el tipo de información predominante es pragmática práctica, en donde se reúne el cómo hacer, los métodos y procesos, tanto de naturaleza conceptual como material; (iii) sistema conceptual axiológico ingenieril (*SAXti*), que articula información

³⁶⁹ Se ha visto antes cómo en los sistemas de campo conceptuales (para una tecnología en sentido más amplio) he considerado de forma agrupada un sistema ético-axiológico, por lo que se trataría entonces de tres sistemas conceptuales. Sin embargo, en este punto de desarrollo genérico de la ingeniería, ya he optado por subdividirlo efectivamente en dos sistemas: el axiológico y el ético. De este modo, voy a considerar ahora hasta cuatro sistemas conceptuales en la tecnología ingenieril.

5.3.1.1 Componentes (C) del sistema epistémico de la ingeniería (C_SEPtí)

Ya se ha avanzado antes que pueden considerarse cinco conjuntos de elementos: (i) trasfondo formal lógico-matemático; (ii) trasfondo de conocimiento específico (científico); (iii) trasfondo de conocimiento específico tecnológico (primario y secundario); (iv) trasfondo de conocimiento específico ingenieril (primario y secundario); y (v) fondo de conocimiento ingenieril (primario y secundario). Mientras que el fondo de conocimiento ingenieril es el conjunto de conocimientos característicos, propios o incorporados, de la ingeniería (según el caso de la ingeniería considerada), los trasfondos de conocimiento, tanto lógico-matemático como de conocimiento específico, representan el conjunto de ciencias, tecnologías e ingenierías cuyos contenidos pueden ser considerados –en función de la proximidad– bien como componentes (C) o bien como entorno (E) del sistema epistémico ingenieril.

Estos conjuntos de elementos del sistema epistémico pueden presentarse según un orden desde aquellos conocimientos más generales (trasfondo formal lógico-matemático), pasando por el trasfondo de conocimiento específico, hasta el más específico del fondo de conocimiento ingenieril, que sería el conocimiento nodular de esa ingeniería³⁷¹. Debe aclararse que puesto que ya se ha puesto de manifiesto una jerarquía en que el nivel de familia sería la tecnología, el de géneros las ingenierías, y el de especie (específico) el de una determinada ingeniería, en el ámbito de los trasfondos se consideran excluidos los niveles inferiores. Así, en el trasfondo ingenieril se excluirían los elementos del fondo ingenieril; como del mismo modo, en el trasfondo tecnológico se excluirían las tecnologías ingenieriles.

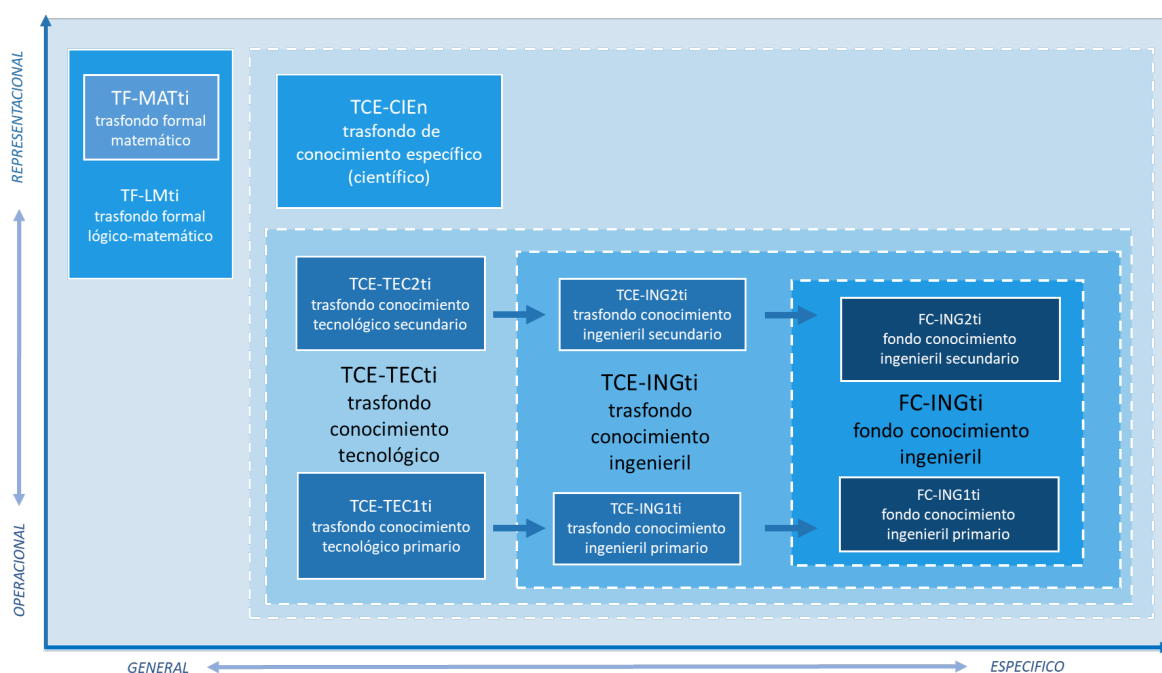


Fig. 5.3.1.a) Cinco conjuntos de elementos básicos de un sistema epistémico ingenieril (SEPtí)

³⁷¹ Para ilustrar los distintos grupos de componentes voy a utilizar como ejemplo el caso de la ingeniería civil. Para ello, considero que los distintos grupos (trasfondos y fondo de conocimiento) forman parte importante de los programas formativos universitarios de la ingeniería civil. En concreto, me baso en la programación docente de la titulación en ingeniería de caminos canales y puertos y en el grado en ingeniería civil (2019) de la Universidad Politécnica de Madrid.

Parte de los trasfondos de conocimiento (lógico-matemático, específico científico y específico tecnológico, e incluso específico ingenieril) podrían contemplarse como componentes, o como entornos próximos de los componentes del fondo de conocimiento ingenieril. No obstante, para construir un sistema epistémico ingenieril completo puede resultar conveniente incluir como componentes algunos de los contenidos de esos trasfondos que pueden estar ‘incorporados’ en tanto son de uso recurrente, al conjunto de componentes que acompañan esos componentes nucleares del fondo de conocimiento ingenieril. Así, de acuerdo con (Moriarty, 2010: 344): “hoy en día, más o menos la tercera parte del curriculum universitario de la ingeniería moderna se dedica a fundamentos matemáticos y estudios de ciencias naturales y aplicadas.”³⁷²

Del trasfondo formal lógico-matemático (TF-LM), pueden considerarse como componentes del sistema epistemológico ingenieril, todo aquél conocimiento incorporado a la ingeniería y que puede considerarse como de tipo formal lógico-matemático (TF-LM), aunque por lo general en ingeniería se trata de trasfondo formal matemático (TF-M). Por ello se tiene en cuenta –como ya se ha puesto de manifiesto con los lenguajes formales matemáticos– la importancia que estos lenguajes y conocimientos tienen como fundamentos ingenieriles. Pueden ponerse como ejemplo de estos conocimientos, en el nivel epistémico más alto (de ciencias generales o especialidades científicas) a elementos componentes del curriculum formativo de la ingeniería civil como: cálculo, álgebra lineal, geometría analítica, estadística, o ecuaciones diferenciales.³⁷³

En cuanto al trasfondo de conocimiento específico científico (TCE-CIE) se está ante ese conjunto de componentes de naturaleza científica (ciencias y especialidades científicas) que forman parte de la base del conocimiento ingenieril. Cada una de estas ciencias o especialidades científicas puede tratarse como el nivel epistémico más alto posible de ese conocimiento específico, pero la estructura interna de una disciplina científica contiene niveles epistémicos inferiores, como teorías científicas, hipótesis científicas y datos. Por este motivo, considero³⁷⁴ cinco niveles epistémicos: 1) datos, conceptos (clasificatorios, comparativos o cualitativos); 2) proposiciones e hipótesis; 3) contextos abiertos y modelos; 4) teorías científicas y contextos cerrados; y 5) disciplinas científicas. Esta ‘estratificación’ de niveles epistémicos se sigue metodológicamente de las que se han venido proponiendo para el sistema óntico, o los sistemas semióticos, y pone de manifiesto la jerarquía intrasistémica dentro de cada componente-sistema.

Siguiendo con el caso de la ingeniería civil, podrían reconocerse como componentes del nivel epistémico 5 del trasfondo específico científico (TCE⁵-CIE) a disciplinas científicas como: física, física (de sólidos y fluidos), mecánica, teoría de campos, química (de materiales), química del agua, o geología.³⁷⁵

En la otra parte del conjunto del trasfondo del conocimiento, se tiene al conjunto de componentes del trasfondo de conocimiento específico tecnológico (TCE-TEC), para atender a un sentido más amplio de lo tecnológico (incluso tecnologías sociales o biológicas, además

³⁷² Moriarty, Gene (2010): “The Focal Engineering Experience”, pp. 343-353, in Van de Poel & Goldberg (eds.) *Philosophy and Engineering. An Emerging Agenda*, Springer.

³⁷³ A partir del programa del Grado en Ingeniería Civil y Territorial (2019-20) de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.

³⁷⁴ Tomo como referencia básica de los cuatro primeros niveles los propuestos por Bunge (1980: 51) para constructos conceptuales: conceptos < proposiciones < contextos abiertos < contextos cerrados.

³⁷⁵ A partir del programa del Grado en Ingeniería Civil y Territorial (2019-20) de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.

de las físicas)³⁷⁶. Además, como se ha visto antes, considero dos tipos diferenciados de conocimiento tecnológico (primario y secundario) que responden –respectivamente– al predominio de conocimientos operacionales y representacional, como se verá con mayor detalle en el análisis del fondo de conocimiento ingenieril.³⁷⁷ Por este motivo, ya incluyo también estos dos subgrupos cuando expongo el trasfondo conocimiento específico tecnológico, y planteo también una ‘estratificación’ de niveles epistémicos.

Así, para el trasfondo de conocimiento específico tecnológico primario (TCE-TEC1), de naturaleza eminentemente operacional y por tanto directamente vinculado con los componentes artefacticos del sistema complejo tecnológico, sugiero cinco niveles epistémicos, y por tanto de conocimiento operacional sobre: 1) identificación y componentes del sistema técnico; 2) operaciones básicas del sistema técnico; 3) elementos y funciones del sistema técnico; 4) reglas e instrucciones del sistema técnico; y 5) operación integral del sistema técnico.

Para el trasfondo de conocimiento específico tecnológico secundario (TCE-TEC2), que se trata de un conocimiento fundamentalmente representacional, y en tal medida más cerca del científico, establezco una estratificación de niveles epistémicos correlacionable con la científica, pero diferenciado en tanto conocimiento tecnológico: 1) conceptos y datos; 2) proposiciones e hipótesis; 3) contextos abiertos y modelos tecnológicos; 4) ‘teorías tecnológicas’ y contextos cerrados; y 5) ‘ciencias tecnológicas’.

Como ejemplos de componentes del quinto nivel epistémico del trasfondo de conocimiento específico tecnológico secundario (TCE⁵-TEC2) para la ingeniería civil, podrían considerarse materias como: empresa, informática, urbanismo, electrotecnia, o cálculo de estructuras.³⁷⁸

Siguiendo en un mayor grado de concreción, dentro del trasfondo específico tecnológico (TCE-TEC) podría considerarse un tipo más específico que fuera el trasfondo de conocimiento específico ingenieril (TCE-ING), en donde se incluyeran aquellos conocimientos ingenieriles que (para el caso de una concreta disciplina ingenieril) pudiera compartir con otras disciplinas ingenierías. En correspondencia con el TCE-TEC, en este trasfondo se separan los conocimiento más operacionales (TCE-ING1), de los más representacionales (TCE-ING2), siendo este último una suerte de conocimiento ingenieril más general o trasfondo de ‘ciencias ingenieriles’. Como ejemplo, para el caso de la ingeniería civil, algunos componentes de nivel epistémico 5 del trasfondo de conocimiento específico ingenieril secundario (TCE⁵-ING2) serían materias como: resistencia de materiales³⁷⁹, mecánica de suelos y rocas, o geotecnia.³⁸⁰

En este momento puede hacerse una representación gráfica sintética de los componentes de los trasfondos de conocimiento, e incluir también los componentes del fondo de

³⁷⁶ Esto permite aproximar materias de campos próximos al de la ingeniería, relacionados con la construcción, como la arquitectura y el urbanismo.

³⁷⁷ Como puede observarse en la representación gráfica, desde el conjunto de trasfondo específico tecnológico, se mantienen separados los dos tipos básicos de conocimiento (operacional o primario y representativo o secundario). De tal modo que, bajo determinadas circunstancias, podría llegar a plantearse dos líneas de relaciones de influencia diferenciadas, de modo que pudieran eventualmente contemplarse como dos subsistemas epistémicos, que podrían bien denominarse como subsistema epistémico primario, y subsistema epistémico secundario. No obstante, en el presente nivel de elucidación he optado por desarrollar un único sistema epistémico.

³⁷⁸ A partir del programa del Grado en Ingeniería Civil y Territorial (2019-20) de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.

³⁷⁹ La resistencia de materiales, como ejemplo de ‘ciencia ingenieril’ es objeto de un detallado análisis en “El papel de las ciencias ingenieriles” de Cuevas Badallo (2005).

³⁸⁰ A partir del programa del Grado en Ingeniería Civil y Territorial (2019-20) de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.

conocimiento ingenieril, que van a tratarse a continuación. Como se observa, en esta representación se ordenan los grupos de componentes en el eje vertical de menor a mayor complejidad, mientras que en el eje horizontal se hace desde una mayor generalidad hacia términos más específicos, terminando precisamente con el fondo de conocimiento (primario y secundario) ingenieril. Además, se incluyen, como componentes-sistema (en tanto sistemas semióticos) los diferentes lenguajes y sistemas gráficos ingenieriles, puesto que son el puente (concreto-abstracto) imprescindible entre las comunidades profesionales ingenieriles (COPTi), que son un componente clave de los sistemas semióticos, y el sistema conceptual epistémico. De esta forma, se está incidiendo en que los sistemas conceptuales que configuran la cultura ingenieril están vinculados inexorablemente con la vida de la comunidad profesional ingenieril. Es la vida cultural de las comunidades profesionales ingenieriles la que mantiene y estructura ese modelo que en este caso, desde el sistema epistemológico, presenta en cierto modo el estado del conocimiento ingenieril.

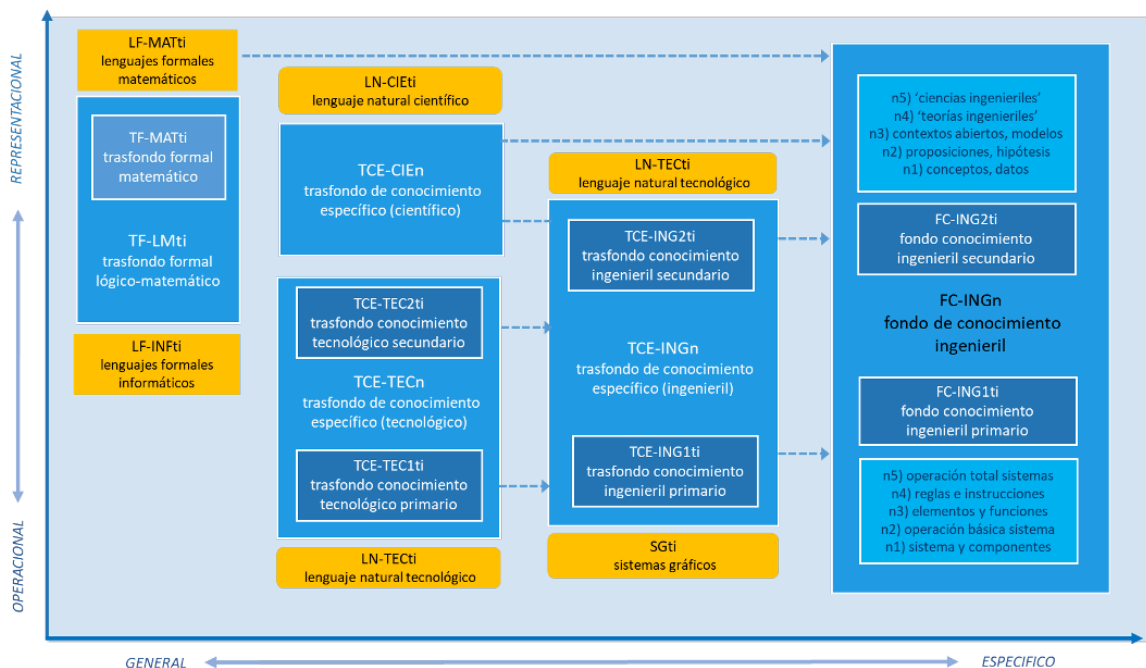


Fig. 5.3.1.b) Grupos de componentes (C) y entornos (E) del sistema epistémico ingenieril (SEPTi)

Una vez que se han visto posibles componentes de los trasfondos del conocimiento ingenieril, puede llegarse al nivel de mayor especificación del conocimiento. Para ello considero al conjunto de componentes característicos (nucleares, por así decirlo) del sistema, como sería el fondo de conocimiento ingenieril, que a su vez puede dividirse en el fondo de conocimiento ingenieril primario (FC-ING1), y fondo de conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2), aplicando la distinción de Quintanilla (2005: 242) entre conocimiento tecnológico primario y secundario. El fondo de conocimiento ingenieril, ya sea primario o secundario, se refiere en todo caso a sistemas técnicos (sistemas tecnológicos), entendiendo que cada disciplina ingenieril se caracterizará, entre otros aspectos, por tratar con una serie determinada de sistemas tecnológicos. Sin embargo, puede señalarse que el conocimiento primario trataría más directamente con la materialidad del sistema tecnológico.

El conocimiento ingenieril primario (FC-ING1) es aquél “que poseen los operadores o usuarios de un sistema técnico, y que es necesario para que se pueda utilizar ese sistema en

forma adecuada y eficiente” (Quintanilla, 2005: 242). Una parte de este conocimiento es implícita, lo que hace que su transferencia tenga que hacerse mediante medios prácticos, directos y personales, ya que tal conocimiento está formado en gran parte por habilidades que dan cuenta de la pericia tecnológica de la comunidad profesional. Este conjunto, ciertamente elusivo, de habilidades implícitas, operacionales, pueden incluirse en la denominación de fondo de conocimiento ingenieril primario operacional-implícito (FC-ING1opim). Se entiende que en este tipo de conocimiento pueden darse niveles de complejidad creciente, al menos en tres niveles de complejidad (identificación del sistema, partes, y propiedades del sistema)³⁸¹, que están ya asumidos en la propuesta total de cinco niveles epistémicos primarios que se ha mostrado antes, y que aparece representada.

Por otra parte, el fondo de conocimiento ingenieril primario puede llegar a tener carácter explícito, como “el que se recoge y se formula en los manuales de operación y mantenimiento de los sistemas técnicos, que especifican las reglas de funcionamiento, las operaciones que se pueden realizar, en qué orden, etc.” (Quintanilla, 2005: 242). De esta forma, puede identificarse un conocimiento ingenieril primario operacional-explícito (FC-ING1opex), un tipo que –en gran medida– en un sistema epistémico, puede representar al tipo de conocimiento primario ingenieril. En todo caso para este tipo de conocimiento podrían considerarse componentes de varios niveles de complejidad, en relación con el sistema técnico de que se trate. Esta sería, de algún modo, una variante de conocimiento primario explícito a partir de los cinco niveles determinados para el conocimiento ingenieril primario.

El primero de este grupo de componentes sería el correspondiente a los datos en tanto unidades de información descriptiva (FC¹-ING1opex). En el siguiente nivel (FC²-ING1opex) podrían encontrarse las operaciones básicas que se pueden realizar en el sistema técnico, mientras que en el siguiente (FC³-ING1opex) estarían las instrucciones y reglas de funcionamiento. El siguiente nivel más alto (FC⁴-ING1opex) sería ya el de los manuales de operación y mantenimiento de los sistemas técnicos.

Si bien las especificaciones anteriores pueden tener aplicación para análisis de mucho detalle, parece oportuno disponer en el fondo de conocimiento ingenieril primario de una tabla común de niveles epistémicos, como la que se ha propuesto ya antes para los trasfondos de conocimientos tecnológicos e ingenieriles primarios. De este modo, las referencias generales de componentes de este tipo de conocimiento pueden hacerse también respecto a la serie: 1) identificación y componentes del sistema técnico (FC¹-ING1); 2) operaciones básicas del sistema técnico (FC²-ING1); 3) elementos y funciones del sistema técnico (FC³-ING1); 4) reglas e instrucciones del sistema técnico (FC⁴-ING1); y 5) operación integral del sistema técnico (FC⁵-ING1).

Por otro lado, el fondo de conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2) sería, a partir de Quintanilla (2005: 242), el conocimiento que tiene una comunidad profesional ingenieril de “las propiedades y reglas de operación de un sistema técnico. Incluye conocimientos tanto representacionales como operacionales, en su mayoría explícitos y formalizados (en las teorías tecnológicas, en los planos y diseños de los sistemas técnicos, etc.) que se refieren a la estructura, funcionamiento y producción de sistemas técnicos.”

El conjunto del fondo de conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2) es el resultado de la incorporación de distintos conocimientos explícitos. Por una parte del tipo operacional (FC-ING2op), en lo que se solapan parcialmente con los FC¹⁻⁴-ING1opex vistos más arriba,

³⁸¹ Establezco estos tres niveles a partir de la afirmación de Quintanilla (2005: 242) de que “cualquier conocimiento práctico u operacional, tácito o explícito, tiene componentes representacionales ineludibles (identificación del sistema, sus partes, propiedades, etcétera).”

pero con el objetivo de disponer de una metarreflexión sobre las operaciones de los sistemas técnicos, por lo que pueden incluir conocimientos procedentes de los sistemas técnicos propios de la disciplina ingenieril, así como procedentes de estas metarreflexiones sobre sistemas técnicos de otras disciplinas (trasfondo de conocimiento específico ingenieril, TCE-ING), además de los conocimientos operacionales resultantes de aplicar la metodología ingenieril (problema-diseño-modelo), que se verá en el sistema metodológico ingenieril.

Así, el fondo de conocimiento ingenieril secundario operacional (FC-ING2op), muy relacionado con el saber-cómo (*Know-how*) tendría como componentes genéricos los relacionados con conocimientos sobre: métodos de investigación y de producción, diseños, modelos y planes. Componentes que, como se verá más adelante, son componentes nucleares del sistema metodológico ingenieril. Para el caso de la ingeniería civil³⁸², pueden considerarse como ejemplos de este tipo de conocimientos los incluidos en materias como: diseño gráfico, procedimientos generales de construcción, cálculo de estructuras, construcción de estructuras de hormigón y acero, u organización de obras.

Por otra parte, el fondo de conocimiento ingenieril secundario de tipo representativo (FC-ING2rep) está más vinculado al saber-qué (*Know-that*), y en esa medida también con el correspondiente trasfondo de conocimiento específico tecnológico (TCE-TEC) e ingenieril (TCE-ING) incorporado, pero más todavía con el trasfondo de conocimiento específico científico (TCE-CIE) incorporado. Para el caso del fondo de conocimiento ingenieril secundario los componentes podrían ‘estratificarse’ epistémicamente como: nivel 1, datos y conceptos; nivel 2, proposiciones e hipótesis ingenieriles; nivel 3, modelos y contextos abiertos; nivel 4, teorías ingenieriles y contextos cerrados; hasta un nivel 5 que podría denominarse como ‘ciencias ingenieriles’. Este fondo de conocimiento ingenieril secundario representacional sería, por así decirlo, el núcleo epistémico propio de una determinada ingeniería, de modo que genéricamente, y por simplificar, se puede hacer equivalente al fondo de conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2ti) de una determinada ingeniería.

Componentes de este tipo de conocimiento (FC-ING2rep) en su nivel epistémico más alto (5), y por tanto también representables como FC⁵-ING2ti podrían ser, como núcleo específico de la ingeniería, por ejemplo para la disciplina de la ingeniería civil: hidráulica e hidrología; mecánica de suelos y rocas; obras marítimas; ingeniería sanitaria; infraestructuras hidráulicas; caminos; ferrocarriles; ingeniería estructural; servicios, protección del medio urbano y residuos; ingeniería del agua en núcleos urbanos; ingeniería del litoral; o ingeniería civil de centrales térmicas.³⁸³

Ahora puede representarse el conjunto de potenciales componentes de un sistema epistémico ingenieril (*SEPTi*) como:

$$C_SEPTi = < SLNti, SLFti, SGti, TF^n-Mti, TCE^{1-5}-CIEc, TCE^{1-5}-TEC1x, TCE^{1-5}-TEC2x, TCE^{1-5}-ING1y, TCE^{1-5}-ING2y, FC^{1-3}-ING1opimi, FC^{1-4}-ING1opei, FC^{1-5}-ING1i, FC^{1-5}-ING2opi, FC^{1-5}-ING2rei, FC^{1-5}-ING2i >$$

donde,

SLNti : componentes-sistema de los lenguajes naturales en la ingeniería;

³⁸² A partir de las asignaturas del programa del Grado en Ingeniería Civil y Territorial (2019-20) de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), que tomo como referencia básica de contenidos para ejemplificar componentes del sistema epistémico ingenieril.

³⁸³ A partir del programa del Grado en Ingeniería Civil y Territorial (2019-20) de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.

SLFti : componentes-sistema de lenguajes formales en ingeniería;
SGti : componentes-sistema de sistemas gráficos en ingeniería;
TFⁿ-Mti : componentes de trasfondo formal matemático, en niveles epistémicos;
TCE¹⁻⁵-CIEc : componentes (nivel epistémico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico científico, de una o varias disciplinas científicas ‘c’;
TCE¹⁻⁵-TEC1x : componentes (nivel epistémico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico tecnológico primario, de una o varias disciplinas tecnológicas ‘x’;
TCE¹⁻⁵-TEC2x : componentes (nivel epistémico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico tecnológico secundario, de una o varias disciplinas tecnológicas ‘x’;
TCE¹⁻⁵-ING1y : componentes (nivel epistémico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico ingenieril primario, de una o varias disciplinas ingenieriles ‘y’;
TCE¹⁻⁵-ING2x : componentes (nivel epistémico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico ingenieril secundario, de una o varias disciplinas ingenieriles ‘y’;
FC¹⁻³-ING1opimi : componentes (nivel epistémico 1 al 3) de fondo de conocimiento ingenieril primario operacional-implícito de una determinada disciplina ingenieril ‘i’;
FC¹⁻⁴-ING1opei : componentes (nivel epistémico 1 al 4) de fondo de conocimiento ingenieril primario operacional-explicito de una determinada disciplina ingenieril;
FC¹⁻⁵-ING1i : componentes (nivel epistémico 1 al 5) del fondo de conocimiento ingenieril primario de una determinada disciplina ingenieril;
FC¹⁻⁴-ING2opi : componentes (nivel epistémico 1 al 4) de fondo de conocimiento ingenieril secundario operacional de una determinada disciplina ingenieril;
FC¹⁻⁴-ING2rei : componentes (nivel epistémico 1 al 4) de fondo de conocimiento ingenieril secundario representacional de una determinada disciplina ingenieril;
FC¹⁻⁵-ING2i : componentes (nivel epistémico 1 al 5) del fondo de conocimiento ingenieril secundario de una determinada disciplina ingenieril ‘x’.

Este sería un amplio conjunto de los diferentes componentes que pueden formar el sistema epistémico de una ingeniería. Bien entendido que los componentes más importantes, junto con los sistemas semióticos, son el grupo de los componentes de fondo de conocimiento ingenieril (FC-ING). Los elementos que se agrupan como trasfondo formal o trasfondo de conocimiento específico pueden incluir –según el caso– tanto componentes como incluso entorno, junto a otros diferentes entornos (E).

5.3.1.2 Entornos (E) del sistema epistémico ingenieril (*E_{SEPTi}*)

Se entiende que los entornos del sistema epistémico ingenieril pueden ser, en primera instancia, todos aquellos elementos del apartado anterior de componentes potenciales que finalmente no hayan sido incorporados como componentes en la precisa definición del sistema epistémico ingenieril que se esté tratando. En todo caso, parece normal que pueden aparecer como entorno de este sistema diversos elementos tanto del trasfondo formal lógico-matemático (TF-LM), como del trasfondo de conocimiento específico científico (TCE-CIE) y del específico tecnológico (TCE-TEC).

Además, se consideran por definición sistemas de entorno del sistema epistémico al resto de sistemas conceptuales (metodológico³⁸⁴, axiológico y ético), a los sistemas praxiológicos y al sistema óntico material del sistema complejo de la ingeniería.

³⁸⁴ Ya se ha señalado la intensa relación entre el sistema epistémico y el sistema metodológico de la ingeniería.

De este modo, el entorno del sistema epistémico ingenieril (E_SEPt_i) podría representarse como:

$$E_SEPt_i = \langle \text{TF-LM}, \text{TCE-CIE}, \text{TCE-TEC}, \text{SONti}, \text{SMETi}, \text{SAXti}, \text{SETti}, \text{SPRAti} \rangle$$

donde,

TF-LM : elementos (no componentes del sistema epistémico) del trasfondo formal lógico matemático;

TCE-CIE : elementos (no componentes del sistema epistémico) del trasfondo de conocimiento específico científico de una ingeniería;

TCE-TEC : elementos (no componentes del sistema epistémico) del trasfondo de conocimiento específico tecnológico de una ingeniería;

SONti : sistema óptico material de la ingeniería;

SMETi : sistema conceptual metodológico de la ingeniería;

SAXti : sistema conceptual axiológico de la ingeniería;

SETti : sistema conceptual ético de la ingeniería;

SPRAti : sistemas funcionales praxiológicos de la ingeniería.

5.3.1.3 Estructura (S) del sistema epistémico ingenieril (S_SEPt_i)

Una vez definidos los componentes y entorno del sistema epistémico ingenieril, puede pasarse a considerar su estructura, tanto la endoestructura (C-C) como la exoestructura (C-E). En todo caso, las relaciones que se producen son inmateriales, de información, y más concretamente relaciones informativas estructurales (o sintácticas) y relaciones informativas pragmáticas.

Las relaciones informativas sintácticas se dan entre todos los componentes. Tanto entre grupos de componentes, como dentro de un mismo grupo de los diferentes niveles epistémicos identificados; así como entre los componentes y su entorno. Estas relaciones conforman tanto la endoestructura como la exoestructura del sistema epistémico ingenieril.

Por otra parte están las relaciones de información pragmáticas, esencialmente de tipo descriptivo o representativo, que son –por así decirlo– la marca distintiva del sistema epistémico. Esta información pragmática descriptiva o representativa conecta a las comunidades profesionales ingenieriles (COPTi), a través de los tres grupos de lenguajes identificados (natural, formal y gráfico), con el sistema conceptual epistémico. Por decirlo con una expresión gráfica, la comunidad profesional ingenieril introduce y extrae información descriptiva (y también en casos práctica) del sistema conceptual epistémico, que funciona como un reservorio dinámico del conocimiento ingenieril.

5.3.2 Método ingenieril: sistema conceptual metodológico en ingeniería ($SMETi$)

El sistema conceptual de la metodología ingenieril es uno de los cuatro grandes representantes de lo que estoy denominando como ‘cultura ingenieril’. Este tipo de sistema, muy próximo al epistemológico, es el que daría cuenta de los elementos básicos de la praxis conceptual ingenieril. Por este motivo, del conjunto de los elementos que Bunge (1985) considera propios del conocimiento tecnológico en sentido amplio (teorías tecnológicas, hipótesis, datos, diseños, métodos y planes), he reservado estos tres últimos para el sistema conceptual metodológico.

Pero, antes de nada, conviene diferenciar entre los métodos, como aquí los vamos a considerar, y los procesos generales (sistema funcional praxiológico) del sistema complejo ingenieril. Los métodos, como aquí los contemplo, son entidades conceptuales, mientras que

las funciones del sistema praxiológico son acciones materiales, aunque guiadas por entidades conceptuales metodológicas (así como epistémicas, axiológicas y éticas).

Asumo que los métodos son entidades abstractas complejas que identifican secuencias de acciones intencionales con objetivos (particulares) determinados: representar, conocer en mayor detalle, calcular, modelizar, etc. Sin embargo, aunque estas secuencias de acciones (acontecimientos artificiales) llevan de una situación inicial hasta una situación final objetivo, no son procesos generales del sistema complejo tecnológico, que dan como resultado un ‘producto’ característico de la ingeniería, como los que están representados por los sistemas funcionales praxiológicos: académico-docente; de investigación e innovación; de producción; y de gestión. En este sentido, los distintos métodos que componen el sistema metodológico de la ingeniería, pueden entenderse como instrucciones de ‘segmentos de proceso’.

Estos segmentos de proceso, o métodos, pueden incorporarse en diferentes procesos y aún en diferentes momentos de los mismos. Los métodos son, por así decirlo, la ‘caja de herramientas’ conceptual de la ingeniería, en donde tenemos disponibles aquellas secuencias de acciones intencionales tecnológicas. Algunas de estas herramientas son genéricas (de la tecnología), mientras que otras son más específicas (de la ingeniería). Con ellas se pueden resolver directamente ciertos problemas sencillos, o partes de un proceso más complicado. Pueden utilizarse individualmente o combinadas.

Estos métodos, en tanto componentes del sistema conceptual metodológico, pueden describirse tanto como componentes sencillos, como también como componentes-sistema. Y en todo caso, más allá de los otros componentes, están inmersos en un entorno (E), y mantienen relaciones tanto entre sí (C-C) como con su entorno (C-E), que definen conjuntamente una estructura (S) característica del sistema. Cuando se ha abordado antes esta cuestión, ya se han sugerido una serie de métodos –en tanto componentes de un sistema metodológico tecnológico ingenieril– agrupados de acuerdo con los cuatro grandes grupos de funciones sistémicas ingenieriles: académico-docente, de investigación e innovación (o de cambio), productiva, y de gestión.

A diferencia del sistema epistémico ingenieril, que es más específico (según la disciplina ingenieril), el sistema metodológico es más genérico, puesto que los métodos disponibles forman parte de una suerte de cultura ingenieril general. Por este motivo, el sistema metodológico va a ser –en comparación con el epistémico– más genérico, pero al tiempo más detallado. Siguiendo como en los apartados anteriores, voy a considerar los componentes (C), el entorno (E) y la estructura (S) del sistema metodológico ingenieril (*SMEti*).

5.3.2.1 Componentes (C) del sistema metodológico ingenieril (*C_SMEti*)

Por tratarse de un sistema exclusivamente conceptual, los primeros componentes a que voy a hacer referencia son los lenguajes y sistemas gráficos, en tanto sistemas semióticos, como puentes entre la comunidad profesional ingenieril (*COPTi*) y el propio sistema conceptual metodológico. Menciono, como en el caso anterior, los sistemas semióticos más importantes: los lenguajes naturales en la ingeniería (*LNti*); los lenguajes formales, especialmente los lenguajes formales matemáticos (*LF-MATti*) y los lenguajes informáticos (*LF-INFti*); así como los sistemas gráficos, tanto los icónicos (*SG-ICOTi*) como los simbólicos (*SG-SIMti*), que adquieren en este sistema una gran importancia, en métodos nodulares como el diseño o la representación gráfica.

Respecto los métodos, como componentes característicos del sistema metodológico, sigo la estructura que responde a las cuatro áreas funcionales: formación ingenieril (F), cambio ingenieril (C), producción ingenieril (P), y gestión (nivel alto) ingenieril (G). Hay que resaltar que de estas cuatro áreas funcionales hay dos que son más genéricas (formación y gestión de

alto nivel) puesto que incluyen métodos compartidos con otras tecnologías, pero también con disciplinas científicas; mientras que las otras dos (cambio y producción ingenieril) incluyen métodos más específicos de la actividad ingenieril, hasta el punto que se les podría agrupar bajo la denominación de ‘métodos tecnológicos ingenieriles’.

De forma esquemática, como se observa en la representación básica de componentes del sistema, se ha procurado diferenciar estos dos conjuntos. Los métodos se han distribuido conforme a los ejes: el horizontal que va de métodos más generales a más específicos, y el vertical que va de métodos cuyo objeto va desde niveles ónticos más bajos (artefactos y sistemas artefacticos) hasta el del complejo institucional.

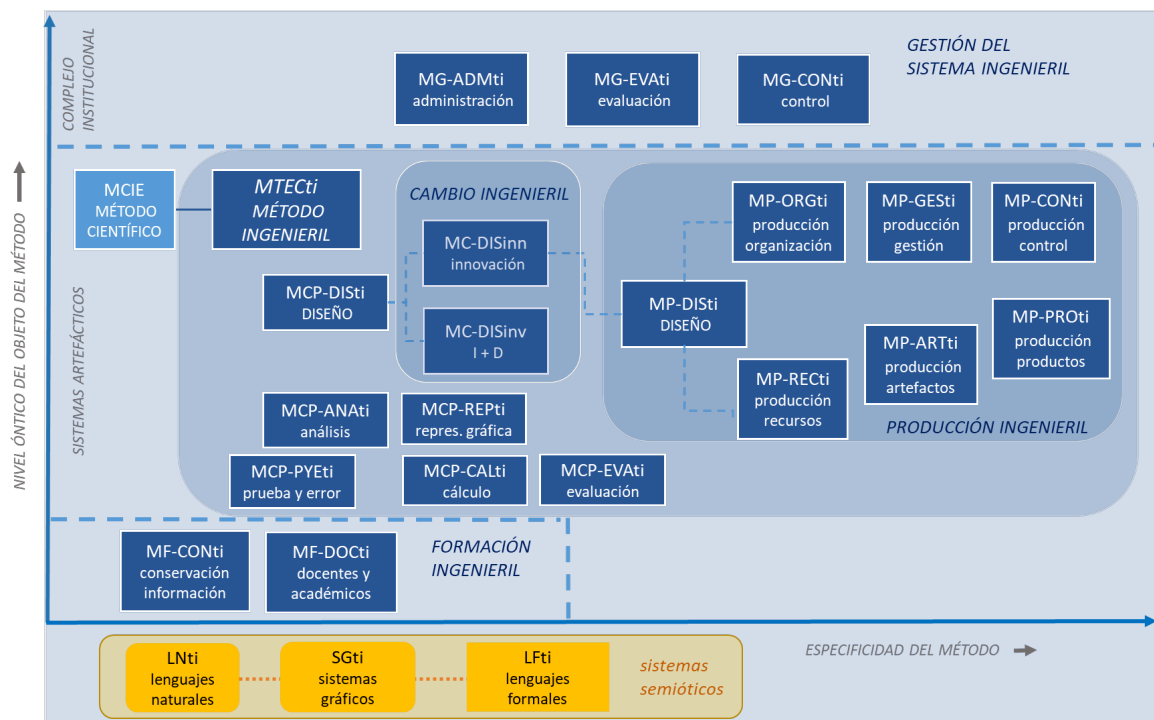


Fig. 5.3.2.a) Componentes (métodos), según áreas funcionales, del sistema metodológico ingenieril (SMEti)

En el área de formación ingenieril se encuentran, en primer lugar, el conjunto de métodos de conservación y gestión de la documentación (MF-CONTi). Estos métodos remiten al uso, por parte de la comunidad profesional ingenieril (COPTi), de técnicas documentales e informáticas, y a la operación de artefactos informáticos (ARTF⁴⁻⁵INF) mediante el uso de lenguajes formales informáticos de programación (LF-INFpro), y más específicamente de lenguajes informáticos de marcado (LF-INFmar). Su finalidad es conservar y gestionar la información pragmática (descriptiva, práctica y valorativa) que maneja la comunidad profesional ingenieril a través de los sistemas conceptuales. En última instancia, las bases físicas artefacticas a que remiten estos métodos de conservación y gestión documental serían principalmente: bibliotecas, archivos y centros de documentación, museos, y redes documentales (analógicas y digitales).

El otro grupo de componentes del área de formación está constituido por el conjunto de métodos docentes y académicos (MF-DOCTi) destinados a la transmisión –en cada momento– de la cultura ingenieril con el objeto de incrementar y mantener la comunidad profesional ingenieril, mediante la incorporación individualizada a esa comunidad profesional. Esa incorporación individualizada se produce en el marco del complejo institucional académico-

docente, a través de distintos espacios –que a su vez remitirán a métodos docentes más específicos– como son los que se desarrollan, en las instalaciones (aulas, laboratorios y talleres) de las escuelas técnicas de ingeniería.

Todos estos métodos formarían parte de la pedagogía ingenieril, una materia que aparece recurrentemente (*cfr.* Miser, 1978; Simon, 1996; Bucciarelli, 2003; Christensen *et al.*, 2007; o Michelfelder, McCarthy & Goldberg, 2013) en las reflexiones filosóficas e ingenieriles sobre la propia ingeniería. Estos métodos se combinan y articulan funcionalmente el sistema praxiológico académico docente, como se verá más en detalle al tratar los sistemas praxiológicos correspondientes.

Siguiendo el orden, se encontrarían el conjunto de componentes (métodos) que pueden considerarse ampliamente como ‘métodos ingenieriles’ (MTECTi), en donde incluyo tanto métodos que serían de la función de cambio ingenieril (MCTi) como de la función de producción ingenieril (MPTi), así como varios que son compartidos (MCPti).

Entre los métodos ingenieriles compartidos estarían los de: prueba y error (MCP-PYETi), como método menos formalizado; análisis (MCP-ANATi); cálculo (MCP-CALTi); representación gráfica (MCP-REPTi); evaluación (MCP-EVATi); y, de forma más amplia, el diseño (MCP-DISTi).

El primero de estos componentes responde, en un modo ciertamente poco formalizado pero efectivo, a las necesidades de la ingeniería dominada por la obtención de resultados prácticos. Ya cuando el físico nuclear J.A. Wheeler (1956) se refiere al progreso por tanteo y error, como uno de los siete elementos que participan en el hecho del conocimiento humano³⁸⁵, lo ilustra con las palabras de John Cris (el inventor del motor de combustión): “ponerlo en marcha y ver por qué no funciona”. Así el error (como solución inadecuada), y en este sentido, el método de prueba y error (MCP-PYETi) se convierte en un componente relevante del sistema metodológico ingenieril.

En este grupo se incluyen, de forma relativamente amplia, los métodos de análisis (MCP-ANATi) y de evaluación (MCP-EVATi), como métodos de relativa complejidad, que solicitan el concurso de componentes epistemológicos, axiológicos y éticos, respectivamente. Como ejemplos de metodología de análisis en ingeniería (MCP-ANATi) se encontrarían: análisis de factibilidad, análisis de ciclo de vida (ACV), análisis de coste-beneficio (ACB), o análisis de riesgos (AR). Serían, por su parte, ejemplos de métodos evaluativos: evaluación de alternativas, o evaluación de impacto ambiental (EIA).

A continuación estarían, como métodos más formalizados, los de cálculo y los de representación gráfica. En los métodos de cálculo (MCP-CALTi) se combinan conocimientos ingenieriles y lenguajes formales (LF), tanto informáticos como matemáticos (LF-MATTi). De un modo semejante, en los métodos de representación gráfica se combinan conocimientos ingenieriles con sistemas semióticos gráficos, singularmente simbólicos (SG-SIMTi).

Finalmente, en el grupo de métodos comunes a las funciones de cambio y producción ingenieril, se incluyen los métodos de diseño ingenieril (MCP-DISTi), como conjunto de operaciones fundamentadas en el conocimiento ingenieril, que proporcionan las bases para resolver un problema determinado mediante la elaboración de una solución determinada: un modelo en la fase conceptual, o un tipo (prototipo o tipo específico) de sistema técnico en la fase de transformación material. Esto lleva a la división entre dos funciones típicamente ingenieriles: la primera, que da cuenta del proceso de cambio ingenieril, con los métodos de

³⁸⁵ *Cfr.* Wheeler, J.A. (1956) “A Septet of Sibyls: Aids in the Search for Truth”, *American Scientist*, vol. 44, p. 360.

diseño de cambio ingenieril (MC-DISTi); y la segunda, la de producción ingenieril, con los métodos de diseño para la producción ingenieril (MP-DISTi).

Entre los métodos de diseño para el cambio ingenieril, considero por una parte los destinados a la investigación y desarrollo (MC-DISinv), que –como se verá más adelante– articulan el subsistema funcional praxiológico de la investigación y desarrollo (I+D). Por otra parte, considero los métodos de diseño destinados a la innovación (MC-DISinn), que articulan el subsistema funcional praxiológico de innovación. Se observa en la representación que también se incluye (aunque diferenciado) el método científico (MCIE), puesto que puede llegarse a considerarse como un componente del sistema metodológico ingenieril o en todo caso como entorno del sistema, en relación con los procesos de cambio, como serían los del sistema científico vinculados eventualmente a la I+D+i ingenieril.

La importancia de los métodos de diseño, también en la función producción ingenieril, se pone de manifiesto situando estos métodos de diseño productivo (MP-DISTi) como punto de arranque (diseño de alternativas, diseño de prototipos, diseño de proyectos...) para los diversos métodos específicos que pueden incluirse en la función productiva ingenieril. Así, el área de producción, que es por excelencia el característico de la ingeniería –hasta el punto de que en la mayor parte de los casos se toma la actividad ingenieril como equivalente a la actividad productiva ingenieril– incluiría dos conjuntos de métodos que parten desde el diseño. En primer lugar, los métodos de la parte productiva material (transformadora) de la actividad ingenieril, y a continuación los métodos de la parte de gestión del sistema técnico productivo.

La parte productiva material ingenieril dispone, de diferentes métodos que pueden organizarse –en correspondencia con la lógica R-A-P de producción ingenieril que se ha tratado en el sistema óptico material– en relación con los métodos respecto acciones que tienen que ver con los recursos (R), los artefactos físicos (ARTF), o los productos (P). Estos métodos, a diferencia del resto, tienen una elevada especificidad dependiendo de la disciplina ingenieril de que se trate. De esta forma, puede hablarse de métodos de producción orientados al recurso (MP-RECTi) como entradas al macrosistema productivo, que se encuentran típicamente en ingenierías como la minera, energética, alimentaria, agronómica o forestal. En segundo lugar, puede hablarse de métodos de producción orientados al artefacto (MP-ARTti), como pueden ser los más habituales en la ingeniería industrial y mecánica, ingeniería de construcción de artefactos (naval, aeroespacial...), ingeniería eléctrica y electrónica. En último lugar se incluirían los métodos productivos orientados al producto, como bienes o servicios, (MP-PROti) donde se encontrarían métodos propios de la ingeniería civil y de la ingeniería ambiental, así como la ingeniería de telecomunicaciones, y la informática.

Además, el área de producción ingenieril dispone de métodos de gestión comunes para los métodos productivos anteriores, como son: métodos de organización de la producción (MP-ORGti); métodos de gestión de la producción (MP-GESTi), como por ejemplo la gestión por procesos; y métodos de control de la producción (MP-CONTi), como los métodos de control de calidad.

Finalmente, entre los componentes del sistema metodológico ingenieril, estarían los métodos correspondientes al área de gestión del sistema complejo ingenieril. Son, por tanto, métodos de un nivel alto del ciclo del proyecto, operados típicamente por el nivel óptico superior del complejo institucional, y responden a las necesidades generales de: administración (MG-ADMti); de evaluación (MG-EVAti), como la evaluación de impacto ambiental (EIA); y de control (MG-CONTi).

A partir de lo anterior, puede representarse el conjunto de componentes potenciales de un sistema conceptual metodológico ingenieril (C_SMEti), como:

$$C_SMEti = < SLNti, SLF-MATti, SLF-INFti, SG-ICoti, SG-SIMti, MF-CONti, \\ MF-DOCTi, MCP-PYEtI, MCP-ANAti; MCP-CALti, MCP-REPtI, \\ MCP-EVAti; MCP-DISTi, MC-DISinv, MC-DISinn, MP-DISTi, MP-RECTi, \\ MP-ARTti, MP-PROti, MP-ORGti, MP-GESTi, MP-CONti, MG-ADMti, \\ MG-EVAti, MG-CONti >$$

donde,

SLNti : componentes-sistema de lenguajes naturales de la ingeniería;
SLF-MATti : componentes-sistema de lenguajes formales matemáticos ingenieriles;
SLF-INFti : componentes-sistema de lenguajes formales informáticos;
SG-ICoti : componentes-sistema de sistemas gráficos icónicos ingenieriles;
SG-SIMti : componentes-sistema de sistemas gráficos simbólicos ingenieriles;
MF-CONti : métodos de conservación y gestión documental de la ingeniería;
MF-DOCTi : métodos formativos docentes-académicos en la ingeniería;
MCP-PYEtI : métodos (en cambio y producción) de prueba y error en ingeniería;
MCP-ANAti : métodos (en cambio y producción) de análisis en ingeniería;
MCP-CALti : métodos (en cambio y producción) de cálculo en ingeniería;
MCP-REPtI : métodos (en cambio y producción) de representación en ingeniería;
MCP-EVAti : métodos (en cambio y producción) de evaluación en ingeniería;
MCP-DISTi : métodos (en cambio y producción) de diseño ingenieril;
MC-DISinv : métodos de diseño para investigación ingenieril;
MC-DISinn : métodos de diseño para innovación en ingeniería;
MP-DISTi : métodos de diseño para la producción en ingeniería;
MP-RECTi : métodos de producción orientados al recurso en ingeniería;
MP-ARTti : métodos de producción orientados al artefacto en ingeniería;
MP-PROti : métodos de producción orientados al producto (bienes o servicios);
MP-ORGti : métodos de organización de la producción en ingeniería;
MP-GESTi : métodos de gestión de la producción en ingeniería;
MP-CONti : métodos de control en la producción en ingeniería;
MG-ADMti : métodos de administración en la gestión del sistema ingenieril;
MG-EVAti : métodos de evaluación (externa) en la gestión del sistema ingenieril;
MG-CONti : métodos de control en la gestión del sistema ingenieril.

5.3.2.2 Entorno (E) del sistema metodológico de la ingeniería (*E_SMEti*)

De acuerdo con el modelo general, se consideran por definición sistemas de entorno del sistema a los otros tres sistemas conceptuales (epistémico, axiológico y ético), al sistema óntico material del sistema complejo de la ingeniería, y a los sistemas funcionales praxiológicos. En particular, se pone de manifiesto la proximidad como entorno, del sistema conceptual epistemológico. Puede señalarse la importancia de incluir, en todo caso, como entorno al conjunto del método científico (MCIE). Además, puede incluirse como entorno al conjunto general de los métodos tecnológicos (MTEC) no específicamente ingenieriles.

El entorno (E) del sistema metodológico ingenieril (*E_SMEti*) podría representarse como:

$$E_SMEti = < SEPtI, SAXti, SETti, SONti, SPRAti, MCIE, MTEC >$$

donde,

SEPtI : sistema conceptual epistémico de la ingeniería;

SAXti : sistema conceptual axiológico de la ingeniería;
SETti : sistema conceptual ético de la ingeniería;
SONti : sistema óntico material de la ingeniería;
SPRAti : sistemas funcionales praxiológicos de la ingeniería;
 MCIE : método (general) científico;
 MTEC : conjunto de métodos tecnológicos no incluidos en el sistema metodológico ingenieril.

5.3.2.3 Estructura (S) del sistema metodológico ingenieril (*S_SMEti*)

Una vez definidos los componentes y entorno del sistema metodológico ingenieril, puede pasarse a considerar su estructura, tanto la endoestructura (C-C) como la exoestructura (C-E). Las relaciones que se producen son inmateriales, de información, y más concretamente relaciones informativas estructurales (o sintácticas) y relaciones informativas pragmáticas.

Las relaciones informativas estructurales se dan dentro y entre los grupos señalados de componentes, de acuerdo con la función ingenieril: formativa (F), de cambio y productiva (CP), de cambio (C), productiva (P) y de gestión (G). También en la endoestructura se señala la importancia de las relaciones entre los componentes de métodos de diseño: MCP-DISTi, MC-DISinv, MC-DISinn y MP-DIS. Del mismo modo, en las relaciones de métodos componentes del área productiva ingenieril.

Por otra parte, se destacan las relaciones de información pragmáticas prácticas, que son esenciales para el sistema metodológico. Este tipo de información se establece a partir de las secuencias de los componentes internos de los distintos métodos y los lenguajes como sistemas semióticos. Esta información pragmática práctica conecta a la comunidad profesional ingenieril (COPTi), a través de los dos grupos de lenguajes identificados (natural y formal) y sistemas gráficos, con el sistema conceptual metodológico, para articular las acciones que definen los sistemas praxiológicos funcionales.

5.3.3 Valores ingenieriles: sistema conceptual axiológico de la ingeniería (*SAXti*)

Como se ha visto en el capítulo anterior, he considerado los elementos axiológicos y éticos de la tecnología como parte de un mismo sistema: sistema conceptual ético-axiológico. No obstante, en el caso de la ingeniería (tecnología ingenieril) la importancia tanto de la axiología como de la ética, junto a determinadas diferencias entre ambas –que se irán viendo– justificaría un tratamiento diferenciado, aunque dentro de su gran proximidad. Por este motivo voy a poder hablar también del subsistema axiológico de la ingeniería y del subsistema ético de la ingeniería, para poner de manifiesto la proximidad entre ambos. Sin embargo, en este punto en que ya se trabaja en el modelo de elucidación filosófica sistemista de la tecnología ingenieril, conviene separar más nítidamente el ámbito axiológico del ético. De este modo voy a tratar, a partir de lo considerado en la fase de elucidación previa, a la axiología como sistema conceptual axiológico ingenieril (*SAXti*), y por tanto a establecer sus componentes (C), entorno (E) y estructura (S) definida por las relaciones endo y exoestructurales.

5.3.3.1 Componentes (C) del sistema conceptual axiológico ingenieril (*C_SAXti*)

Como se ha expuesto, pueden considerarse cuatro tipos de componentes para un sistema axiológico ingenieril: (i) lenguajes (natural y formal), en tanto sistemas semióticos; (ii) valores (internos); (iii) objetivos (internos); y (iv) normas (internas). Esa condición de ‘internos’ apela directamente a la posibilidad de considerarlos como componentes (endoaxiología), mientras que sus correlativos (valores, objetivos y normas) externos van a formar parte del entorno del sistema (exoaxiología). En la representación adjunta presento,

según los cuatro tipos mencionados, los componentes básicos teóricos de un sistema axiológico ingenieril.

Como en los casos anteriores de sistemas conceptuales, los primeros componentes que se identifican para un sistema axiológico ingenieril son los lenguajes, pudiendo destacarse los lenguajes naturales, tanto el lenguaje natural ordinario (LN-ORDti) como el lenguaje natural científico (LN-CIETi), así como singularmente el lenguaje natural tecnológico ingenieril (LN-TECti). Aunque eventualmente pueden emplearse otros lenguajes, como los formales (en particular lenguajes formales lógicos, LF-LOG), o los sistemas semióticos gráficos (como se hace en este trabajo), lo más normal y frecuente es que la axiología se exponga a través de lenguajes naturales (LN). Voy entonces a considerar como componentes a los lenguajes naturales de la ingeniería, y los lenguajes formales lógicos (LF-LOG).

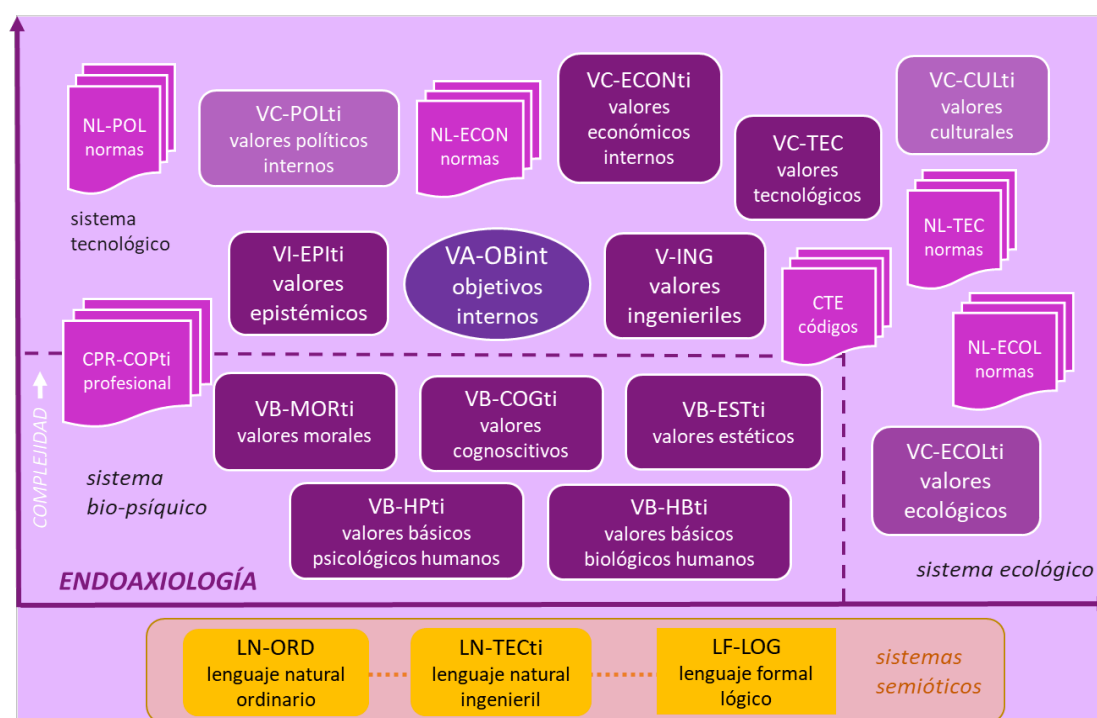


Fig. 5.3.3.a. Componentes de un sistema axiológico ingenieril (C_SAXti)

El segundo grupo de componentes estaría formado por los valores internos. Se trata de aquellos que he presentado como internos para la tecnología, pero que ahora voy a identificar con más detalle para la tecnología ingenieril, a partir de tres procedencias: valores primarios internos; valores tecnológicos ingenieriles endógenos; y valores contextuales internalizados.

El subgrupo de 'valores primarios internos' es el de los valores internos básicos, que forman parte de la nómina de valores en cuanto la ingeniería es una actividad humana (intensiva en conocimiento), y por tanto contemplable desde la esfera del sistema bio-psíquico bungeano, como serían los valores básicos (VB): humanos biológicos (VB-HBTi), humanos psicológicos (VB-HPTi), morales internos (VB-MORint-ti), cognoscitivos (VB-COGti) y estéticos (VB-ESTti). Se trata de valores de bajo a medio nivel de complejidad, puesto que se encuentran en lo básico de la ingeniería en tanto actividad humana. Serían, por así decirlo, los que dan cuenta de los valores humanos subyacentes a su actividad orientada a la

transformación creativa de la realidad. En la tabla adjunta se ofrecen una serie de ejemplos de estos valores básicos, extraídos a partir de los trabajos de los autores que se citan³⁸⁶.

Tabla 5.3.3.a) Valores básicos como componentes del sistema axiológico ingenieril

Valores básicos (VB)	Ejemplos	Referencia
humanos biológicos (VB-HB)	bienestar, salud, longevidad, comodidad	Rescher (1999: 95)
	vestimenta, residencia	W. González (2015: 11)
	salud, seguridad	Poel, van de (2015: 33)
humanos psicológicos (VB-HP)	influencia, poder, prestigio, enriquecimiento personal	Rescher (1999: 76)
cognoscitivos (VB-COG)	verdad, precisión	Rescher (1999: 76)
	claridad, coherencia, verdad	Bunge (2002: 53)
estéticos (VB-EST)	belleza, armonía	W. González (2015: 6)

El segundo subgrupo de valores incluiría los ingenieriles internos o endógenos, que incluyen el conjunto de valores correspondientes (específicamente) a los sistemas que forman el sistema complejo de una ingeniería, por lo que podrían ser valores ingenieriles (VI) de tipo: ontológico (VI-ONT), semióticos (VI-SEM), epistémicos (VI-EPI), metodológicos (VI-MET), éticos (VI-ETI), y praxiológicos (VI-PRA). Se trata de valores de un nivel de complejidad media o alta, puesto que operan en un contexto más característico de la ingeniería, como actividad humana diferenciable de otras tecnologías o incluso de la ciencia. Se destacan los valores tecnológicos ingenieriles y los valores epistémicos, de los que pueden verse algunos ejemplos en la tabla adjunta.

Tabla 5.3.3.b) Valores tecnológicos ingenieriles como componentes del sistema axiológico ingenieril

Valores tecnología ingenieril	Ejemplos	Referencia
epistémicos (VI-EP)	originalidad, precisión	Mosterín (1993: 112)
	cuidado debido, verificabilidad, economía racional	Rescher (1999: 76)
	poder explicativo, poder predictivo	Bunge (2002: 53)
tecnológico ingenieriles (VI)	eficacia, eficiencia	Bunge (2002: 53)
	factibilidad o realizabilidad, eficiencia (técnica), fiabilidad	Quintanilla (2005: 236)
	velocidad, capacidad, coste, durabilidad, robustez, usabilidad, eficiencia, fiabilidad, asequibilidad	V. der Hoven (2009: 478)
	eficiencia técnica, innovación	Quintanilla (2012)
	eficacia, eficiencia	Poel, van de (2015: 38)

Finalmente, entre los valores, como componentes, estarían los valores contextuales³⁸⁷ (VC) internalizados. Serían aquellos valores que, perteneciendo al sistema tecnológico (excluido el sistema tecnológico ingenieril), o al dominio del supersistema social (como son los sistemas

³⁸⁶ Los trabajos de los autores citados son relativos a aspectos axiológicos y éticos de la ciencia y la tecnología, pero en ninguno de ellos se clasifican los valores del modo que lo estoy haciendo, sino que los mencionan como parte de sus análisis. Así que la referencia es de la fuente de la que he extraído ejemplos de distintos valores del análisis axiológico y ético de la ciencia y tecnología. Las fuentes consideradas son: Mosterín (1993); Rescher (1999); Bunge (2002); Van der Hoven (2009: 478); Quintanilla (2005, 2012, 2017); González (2015); Van de Poel (2015); y Bahadori, A. & Smith, S.T (2016).

³⁸⁷ Empleo el término ‘valores contextuales’ a partir de González (2015: 9), refiriéndose como ejemplo a valores “ecológicos, sociales, culturales, políticos, etc.”, que serían casos de valores exógenos o externos. Pero en mi propuesta sugiero la posibilidad de que algunos de esos valores contextuales puedan ser internalizados en la tecnología, llegando a formar parte (como ‘valores contextuales internalizados’) de la categoría general de valores internos como componentes (C) del sistema ético-axiológico de la tecnología. Los valores contextuales no internalizados formarían parte del entorno (E) del sistema.

cultural, económico y político), e incluso a un dominio relativo a los sistemas naturales (ecosistemas), estarían interiorizados en la ingeniería. Así pueden considerarse valores contextualizados: tecnológicos no ingenieriles (VC-TEC), culturales (VC-CULTi), económicos (VC-ECONti), políticos (VC-POLti), sociales (VC-SOCTi) y ecológicos (VC-ECOLti). La complejidad de estos valores suele ser media o alta, puesto que como valores incorporados, suman a su complejidad original, tanto las referencias al contexto (sistema) de procedencia como su proceso de internalización en la ingeniería³⁸⁸.

Tabla 5.3.3.c) Valores contextualizados como componentes del sistema axiológico ingenieril

Valores contextualizados (VC)	Ejemplos	Referencia
económicos (VC-ECON)	utilidad económica	Bunge (2002: 53)
	eficiencia económica	Quintanilla (2005: 236)
	ratio coste-beneficio	W. González (2015: 6)
	coste-efectividad	Bahadori (2016: 104)
sociales (VC-SOC)	seguridad, riesgo	Quintanilla (2005: 269)
	sostenibilidad, seguridad	Poel, van de (2015: 33)
	impacto ambiental	Quintanilla (2005: 269)
ecológicos (VC-ECOL)	sostenibilidad	Poel, van de (2015: 38)
	ausencia de contaminación en el aire, en los ríos	W. González (2015: 6)
	resiliencia	Bahadori (2016: 363)

El tercer conjunto de los componentes del sistema axiológico ingenieril serían los valores-objetivo u objetivos de la ingeniería (VA-OBti), que serían un conjunto organizado de valores (de una o varias clases) diseñado al efecto de orientar la acción y resultado de la ingeniería.

El último conjunto de componentes del sistema serían las normas y códigos, como conjunto de valores interrelacionados de carácter prescriptivo, diferenciando entre aquellas exigibles, o de obligado cumplimiento, y las orientativas o voluntarias. En este grupo se incluyen como componentes aquellos códigos que pueden tener relevancia práctica, y por tanto se consideran los códigos profesionales (CPR-COPTi), y los internos de la propia tecnología ingenieril o ingeniería (CTEti). Además se consideran, en la medida en que aparecen como componentes determinados valores contextuales (VC), a las normas legales (NL) de interrelación con los supersistemas correspondientes: tecnológico (NL-TEC), económico (NL-ECON), político (NL-POL) y ecológico (NL-ECOL).

A partir de lo anterior, puede representarse el conjunto de componentes potenciales de un sistema conceptual axiológico ingenieril (C_SAXti), como:

$$C_SAXti = \langle SLN-ORDti, SLN-TECti, SLF-LOGti, VB-HBti, VB-HPti, VB-MORTi, VB-COGti, VB-ESTti, VI, VC-TECti, VC-CULTi, VC-ECONti, VC-POLti, VC-ECOLti, VA-OBti, CPR-COPTi, CTEti, NL-TEC, NL-ECON, NL-POL, NL-ECOL \rangle$$

³⁸⁸ El proceso de ‘internalización’ de los valores en la tecnología, en general, y por tanto también en las tecnologías ingenieriles forma parte del proceso general de desarrollo tecnológico. Esto supondría, para un valor dado, que la comunidad profesional tecnológica lo reconozca como tal valor y lo incorpore. Excepcionalmente, como en las ‘tecnologías entrañables’ (cfr. Quintanilla, 2017), se realizan propuestas de conjuntos de valores articulados que se proponen incorporar al sistema tecnológico (lo que sería efectivo a través de los sistemas axiológico y ético, de acuerdo con el presente modelo). Las ‘tecnologías entrañables’ de Quintanilla se basan en una propuesta de valores para la tecnología (abierta, polivalente, dócil, limitada, reversible, recuperable, comprensible, participativa, sostenible y socialmente responsable), que ahora se presentan con diferente grado de incorporación en la tecnología. Esta propuesta tiene, en mi opinión, una virtud añadida, y es que ese conjunto de valores se ofrecen como un sistema consistente nucleador de valores para reorientar las tecnologías, donde la ‘tecnología entrañable’ podría entenderse como el reverso de la ‘tecnología alienante’.

donde,

SLN-ORDti : componente-sistema de lenguaje natural ordinario en la ingeniería;

SLN-TECti : componente-sistema de lenguaje natural técnico ingenieril;

SLF-LOGti : componente-sistema de lenguaje lógico en ingeniería;

VB-HBti : valores básicos humanos biológicos en la ingeniería;

VB-HPTi : valores básicos humanos psicológicos en ingeniería;

VB-MORTi : valores básicos morales en actividad ingenieril;

VB-COGti : valores básicos cognitivos en la actividad ingenieril;

VB-ESTti : valores básicos estéticos en la ingeniería;

VI : valores ingenieriles (incluye los valores ontológicos, epistémicos, metodológicos, axiológicos, éticos y praxiológicos) característicos de la ingeniería;

VC-TECti : valores contextuales (internalizados) del sistema tecnológico no ingenieril;

VC-CULTi : valores contextuales internalizados del sistema cultural;

VC-ECONti : valores contextuales (internalizados) del sistema económico;

VC-POLti : valores contextuales (internalizados) del sistema político;

VC-ECOLti : valores contextuales (internalizados) del sistema ecológico;

VA-OBti : objetivos, como valores articulados, del sistema ingenieril;

CPR-COPTi : códigos deontológicos de la comunidad profesional ingenieril;

CTEti : códigos y normas técnicas ingenieriles;

NL-TEC : normas legales pertinentes del sistema tecnológico no ingenieril;

NL-ECON : normas legales pertinentes del sistema económico;

NL-POL : normas legales pertinentes del sistema político;

NL-ECOL : normas legales relativas al sistema ecológico.

5.3.3.2 Entorno (E) del sistema axiológico ingenieril (*E_SAXti*)

En primera instancia, en el entorno más inmediato del sistema axiológico ingenieril se encontraría el sistema ético ingenieril (*SETti*), dado que se han considerado anteriormente como subsistemas en un sistema de campo ético-axiológico. En tanto sistema axiológico tiene como entorno al resto de sistemas del sistema complejo ingenieril: sistema óntico material (*SONti*), sistema conceptual epistémico (*SEPTi*), sistema conceptual metodológico (*SMEti*), sistema conceptual ético (*SETti*), y sistemas funcionales praxiológicos (*SPRAti*). Si bien hay que resaltar que el sistema axiológico ingenieril estaría en un mismo plano y compartiendo naturaleza (conceptual) con el sistema epistemológico y el sistema metodológico; con una proximidad que llega hasta el punto de que el estatus de ‘interno’ para un valor se debe a que ese valor esté presente en el diseño y procesos tecnológicos ingenieriles.

Con esto se caracteriza el entorno más próximo del sistema axiológico. Pero además, al seleccionar los componentes (C) del sistema axiológico se han dejado fuera un conjunto de elementos del contexto que no están internalizados en la ingeniería, y que forman parte de sistemas con un nivel sistémico diferente. Son los sistemas (bio-psíquicos, económicos, culturales y políticos) que, siguiendo a Bunge (2009: 59)³⁸⁹ constituirían la sociedad, entendida como una envolvente global, en donde se encuadra el propio sistema ingenieril.

Entonces, los elementos (valores) exógenos o externos que nos han quedado fuera del sistema axiológico, a excepción de los bio-psíquicos que he incorporado en su totalidad, formarán parte de alguno de esos sistemas (de nivel n+1), como ocurre con: el sistema económico (V-ECON); el sistema cultural (V-CUL), incluso su subsistema tecnológico no

³⁸⁹ Bunge, M. (2009): “Dos enfoques de la Ciencia: Sectorial y Sistémico”, *Rev. Real Acad. Ciencias, Zaragoza*. 64: 51-63.

ingenieril (V-TEC); y el sistema político (V-POL); tomados incluso como supersistema social (V-SOC). Además, puede incluirse los valores externos del sistema ecológico (V-ECOL).

Ese ‘quedarse fuera del sistema axiológico’ que utilizo como una expresión para describir la separación entre valores-componentes y valores-entorno, no debe entenderse como el reconocimiento de que sea una distinción ni clara, ni natural. De hecho, los valores no siempre están bien definidos, ni son estables en el tiempo, ni tienen unas relaciones sencillas con otros valores, ni tampoco el resultado de esas interacciones es el mismo en uno u otro caso (según las distintas disciplinas ingenieriles o la cultura) o momento. Esto hace particularmente complicado calificar los distintos valores como componentes del sistema, o entorno del sistema, más aún en un modelo general de la ingeniería. Por eso, las tablas que se presentan sólo sugieren unas posibles pautas de organización de los diferentes valores.

Tabla 5.3.3.d) Valores como entorno del sistema axiológico ingenieril

Valores del entorno	Ejemplos	Referencia
económicos (V-ECON)	distribución de costes y beneficios	Quintanilla (2005: 236)
culturales (V-CUL)	compatibilidad con criterios compartidos	W. González (2015: 6)
políticos (V-POL)	Democracia	Poel, van de (2015: 38)
	justicia, inclusividad	Poel, van de (2015: 42)
	consentimiento, justicia, libertades civiles	W. González (2015: 6)
sociales (V-SOC)	utilidad social	Bunge (2002: 53)
	Solidaridad	Quintanilla (2005: 249)
	felicidad	Poel, van de (2015: 30)
	bienestar humano, privacidad	Poel, van de (2015: 38)

Estos elementos de entorno pueden situarse junto a los componentes del sistema axiológico, para mostrar el espacio del sistema (endoaxiológico) junto al espacio exterior de entorno (exoaxiológico), como puede observarse en la representación adjunta.

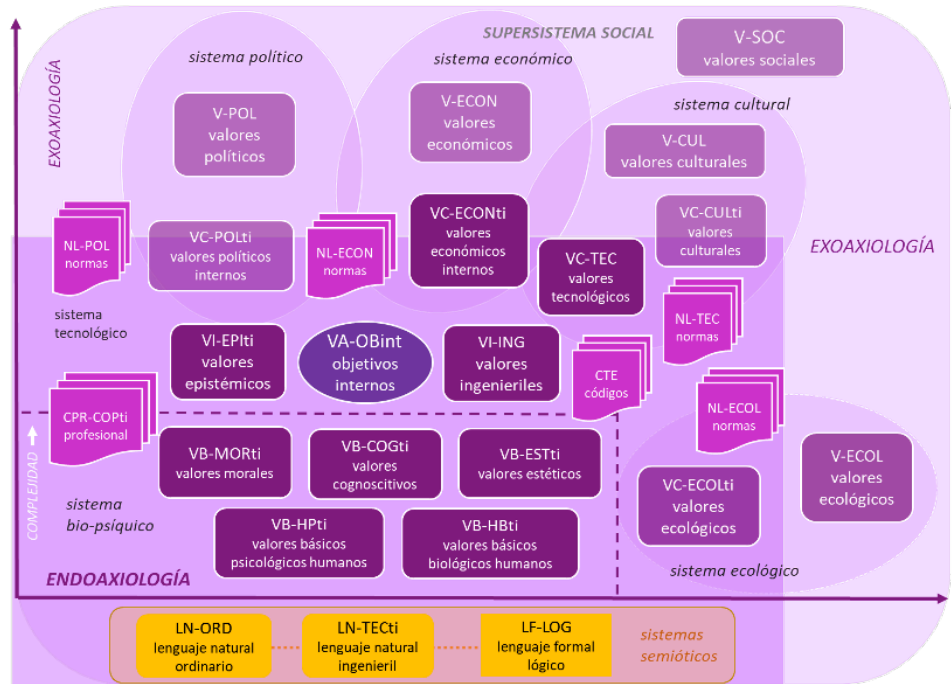


Fig. 5.3.3.b) Componentes y entorno (sistemas) del sistema axiológico de la ingeniería (SAXti)

De este modo, el entorno (E) del sistema axiológico ingenieril (E_SAXti) podría representarse como:

$$E_SAXti = \langle SEPTi, SETti, SONti, SPRAti, V-TEC, V-CUL, V-ECON, V-POL, V-SOC, V-ECOL \rangle$$

donde:

$SEPTi$: sistema conceptual epistémico de la ingeniería;

$SETti$: sistema conceptual ético de la ingeniería;

$SONti$: sistema óptico material de la ingeniería;

$SPRAti$: sistemas funcionales praxiológicos de la ingeniería;

V-TEC : valores tecnológicos (no ingenieriles) no internalizados en la ingeniería;

V-CUL : valores del sistema culturale no internalizados en la ingeniería;

V-ECON : valores del sistema económico no internalizados en la ingeniería;

V-POL : valores del sistema político no internalizados en la ingeniería;

V-SOC : valores del supersistema social no internalizados en la ingeniería;

V-ECOL : valores asignados al sistema ecológico no internalizados en la ingeniería.

5.3.3.3 Estructura (S) del sistema axiológico de la ingeniería (S_SAXti)

Voy a considerar en primer lugar las relaciones endoestructurales, que se dan entre componentes (C-C), y posteriormente las relaciones exoestructurales, que se dan entre los componentes y el entorno (C-E). Estamos, dada la naturaleza abstracta del sistema axiológico, ante relaciones informativas. Y entre éstas, se considera que la información pragmática valorativa o evaluativa es la característica del sistema axiológico. Ya se ha señalado cómo toda la información se remite en última instancia a operaciones materiales de comunicación entre agentes, mediadas por sistemas semióticos, en este caso lenguajes naturales y formales.

Vuelvo a poner de manifiesto que los componentes ‘valores’ son objetos conceptuales con menor o mayor grado de complejidad, con información pragmática valorativa o evaluativa. Los componentes ‘objetivos’ son conjuntos diseñados de valores, e incluyen además de información pragmática valorativa, información pragmática descriptiva. Finalmente, los componentes ‘normas’ serían sistemas de valores (incluyendo objetivos), y por tanto presentan no sólo información pragmática valorativa y descriptiva, sino también información pragmática práctica.

Desde una perspectiva endoestructural, entre estos componentes se establecería, cuanto menos, una relación informativa sintáctica o estructural. Esta información estructural, como relación, será más fuerte entre componentes que forman parte de un mismo tipo de valores. Como pasa con los valores básicos (VB) componentes del sistema bio-psíquico, o como pasa con los valores morales con los valores cognoscitivos y los valores estéticos.

Por otra parte, la exoestructura del sistema axiológico se basa en las relaciones entre componentes y entorno (C-E). Las relaciones más importantes que forman la exoestructura se establecen, para una misma clase (ej. valores económicos, culturales...) entre valores internalizados, como componentes propios del sistema, y valores externos. Se trata por tanto de valores que pueden formar a su vez parte de un sistema o sistemas diferentes del sistema complejo de la ingeniería, como son los sistemas político, social, económico o cultural.

5.3.4 Actitud humana ingenieril: sistema conceptual ético de la ingeniería ($SETti$)

Como se ha observado, en el modelo más general de la tecnología, se ha considerado un sistema de campo ético-axiológico. Pero ahora, al aplicar este modelo a la ingeniería se ha optado por subdividirlo en dos sistemas. Por una parte el axiológico ingenieril que, como se

ha visto, responde más adecuadamente a lo que sería la parte teórica de los valores. Y, por otra parte, el sistema ético ingenieril para dar respuesta a los aspectos prácticos en el manejo de los valores, señaladamente de los valores morales. En cierto modo, el sistema ético ingenieril toma parte del sistema axiológico de la ingeniería, y al mismo tiempo presenta similitudes (orientación a los resultados) con el sistema metodológico ingenieril.

Tanto en los antecedentes como en el estado actual de las reflexiones filosóficas sobre ingeniería se pone de manifiesto que la ética ingenieril es, con mucho, la disciplina filosófica que más se ha tenido presente desde la ingeniería. De este modo, la ética ingenieril o ética profesional de la ingeniería, es una materia relevante, con un corpus académico notable. Sin embargo, hasta donde se ha podido comprobar, los estudios sobre ética ingenieril no parten de enfoques sistémicos, como aquí se pretende.³⁹⁰

Entiendo que la ética ingenieril es un sistema conceptual característico de las comunidades profesionales ingenieriles (COPTi), mediante el cual articulan conceptos y métodos con el fin de enfrentar problemas humanos generales de la ingeniería, como son: la responsabilidad en el uso de medios y la consecución de resultados; la gestión de riesgos (*cfr.* Didier, 2009: 428)³⁹¹ en la incertidumbre; los conflictos de valores (*cfr.* Harris *et al.*, 2009: 84); o la evaluación de la conducta profesional. Cuatro temas que bien podrían contarse entre los más importantes en la ética ingenieril.

A la hora de plantear un modelo del sistema ético ingenieril parto –como no podía ser de otro modo– del sistema de campo ético-axiológico de las tecnologías presentado en el capítulo anterior, y del sistema axiológico ingenieril (SAXti) precedente, de modo que paralelamente (*cfr.* González, 2015) puede distinguirse entre ‘endoética’ (componentes del sistema) y ‘exoética’ (entorno del sistema), así como niveles de complejidad creciente para los distintos grupos de valores. Pero, las características de la ética ingenieril aconsejan dos modificaciones en este esquema general que se presenta.

Por una parte, la posibilidad de precisar mejor los niveles de complejidad, tratando de correlacionar los tipos de valores con los agentes que responden de esos valores, y también de hacer referencia la triple división de tipos de ética (en relación con la moralidad) que sugieren Harris, Pritchard y Rabins (2009: 8) en *Engineering Ethics*³⁹², en función del sujeto y objeto de la ética: moralidad común, moralidad personal, y ética profesional. Asimismo, estos niveles se correlacionan con determinados sistemas del supersistema social bungeano, del modo en que se ha hecho en otras ocasiones.

En el micronivel se considera a los miembros de la comunidad profesional ingenieril en tanto individuos, se correlacionan con los valores básicos (VB), y contienen los elementos que Harris *et al.* (2009) consideran propios tanto de la moralidad común como de la moralidad personal. Se situarían a este nivel los códigos éticos y morales. Todos estos elementos se ponen en relación con el sistema bio-psíquico (como subsistema social).

³⁹⁰ Puede señalarse en este punto el enfoque sistémico de la ética en la ‘empresa científico-tecnológica’ de Agazzi (1996), como un enfoque sistémico relevante de la ética, pero no tanto del ‘interior’ del sistema ético (establecido a partir del ‘sistema moral’), sino de sus interrelaciones con el sistema científico-tecnológico –en tanto sistema social, abierto y adaptativo– que presenta. Por otra parte, el sistema ético de Agazzi, está en estrecha relación con el sistema moral, que se plantea como un sistema social, al mismo nivel que el sistema científico (*cfr.* Agazzi, 1996: 129-152). Sin embargo, y esta es una diferencia importante, en este modelo B-Q que presento, el sistema ético ingenieril sería uno de los sistemas (culturales conceptuales) constituyente (interno) de la ingeniería.

³⁹¹ Didier, C. (2009): ‘Engineering Ethics’, pp. 426-431, en: *A Companion to the Philosophy of Technology*.

³⁹² Harris, Charles E.; Pritchard, Michael S. & Rabins, Michael J. (2009): *Engineering Ethics. Concepts and Cases*, Belmont: Wadsworth.

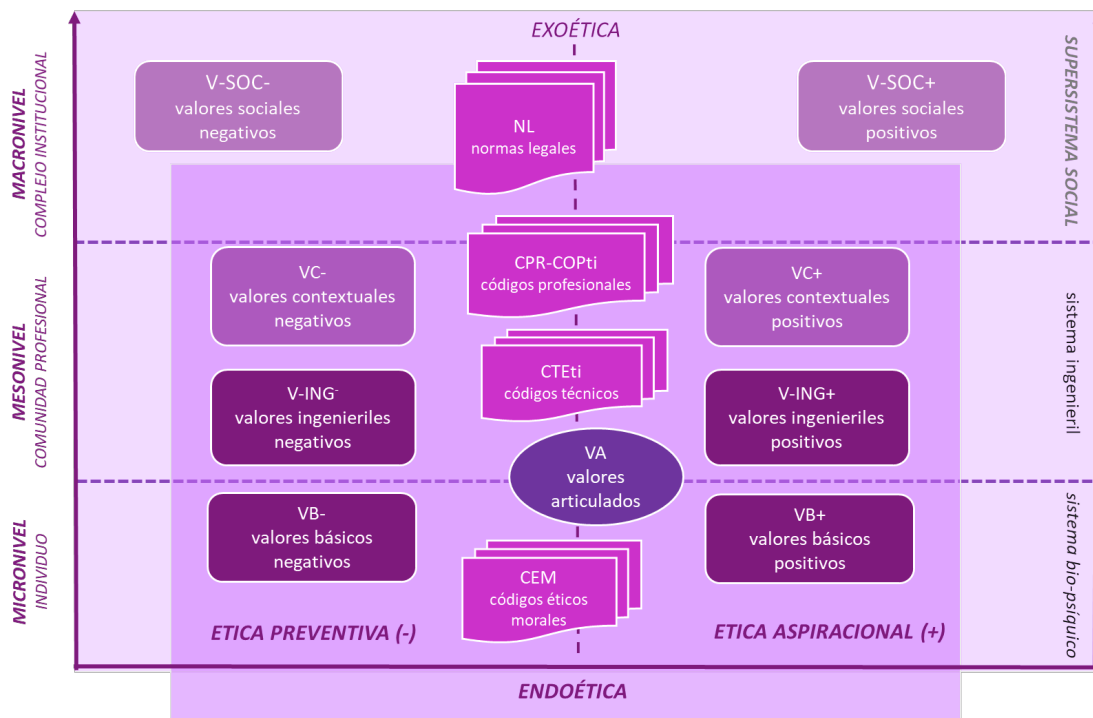


Fig. 5.3.4.a) Esquema básico de elementos (C y E) para un sistema ético ingenieril (*SETti*)

En el mesonivel se atiende a la comunidad profesional ingenieril, como comunidad de individuos, que se vincula con los valores ingenieriles (V-ING) y con los valores contextuales o internalizados (VC), así como los objetivos (VA-OBJ) en tanto valores articulados. En gran medida corresponde a lo que Harris *et al.* (2009) considera como ética profesional. Se incluyen los códigos profesionales y técnicos. Este nivel se corresponde básicamente con el del conjunto del sistema complejo ingenieril.

En el nivel más alto de complejidad (macronivel), se relacionan tanto la comunidad profesional ingenieril como especialmente el complejo institucional ingenieril, con los valores de sistemas de nivel más alto, del sistema social (cultural, económico y político). Se incluyen las normas legales como conjunto articulado de valores.

Por otra parte, resulta interesante que la estructura del sistema ético ingenieril refleje claramente la existencia tanto de valores considerados positivos, como de valores considerados negativos (o antivalores). En mi opinión, al diferenciar entre valores negativos y valores positivos se dispone de una mayor capacidad para abordar enfoques alternativos de la ética como: ética normativa y prescriptiva (*cf.* Didier, 2009), o ética preventiva y ética aspiracional (*cf.* Harris *et al.*, 2009: 11-14). En ambos casos, las primeras (normativa y preventiva) están más vinculadas a la limitación y prohibición respecto a valores negativos, mientras que las segundas (prescriptiva y aspiracional) estarían más orientadas a la promoción de valores positivos.

Como se observa, esta estructura permite situar entre los valores del mismo tipo, pero de distinto signo, los códigos y las normas legales, puesto que se conforman a partir de la conjunción ordenada de valores de uno u otro nivel, y de uno u otro signo. Esta columna central representaría el 'estado de acuerdo' de los valores en el sistema ético.

Tomando en cuenta lo expuesto, se procede a identificar y describir los componentes (C), entorno (E) y estructura (S) de un sistema ético ingenieril.

5.3.4.1 Componentes (C) del sistema ético de la ingeniería (C_SETti)

Considero cinco grupos de componentes (C) en el sistema ético ingenieril: (i) los lenguajes (natural y formal), como sistemas semióticos puente entre el individuo de la comunidad profesional ingenieril y el propio sistema conceptual ético; (ii) los diferentes valores, tanto positivos como negativos, para los niveles crecientes de complejidad, siguiendo el tratamiento agrupado que se les ha dado en el sistema axiológico; (iii) los conjuntos de valores articulados, correspondientes al campo ampliado de los valores (*cfr.* Mosterín, 1993: 130) tales como los principios, objetivos, fines y criterios; (iv) los códigos, como sistema de valores (y en tanto, como componentes-sistema), y muy especialmente los códigos deontológicos o profesionales, así como los códigos técnicos; (iv) las normas legales, también como sistema de valores, tanto las sectoriales (temáticas) como las generales, que articulan respectivamente los valores tecnológicos y los valores correspondientes a los sistemas cultural, económico, político, así como elementos del sistema ecológico.

En cuanto a los lenguajes, como sistemas semióticos, se incluyen como componentes a los mismos que en el sistema axiológico: lenguaje natural ordinario (LN-ORD), lenguaje natural tecnológico ingenieril (LN-TECti) y lenguaje formal lógico (LF-LOG).

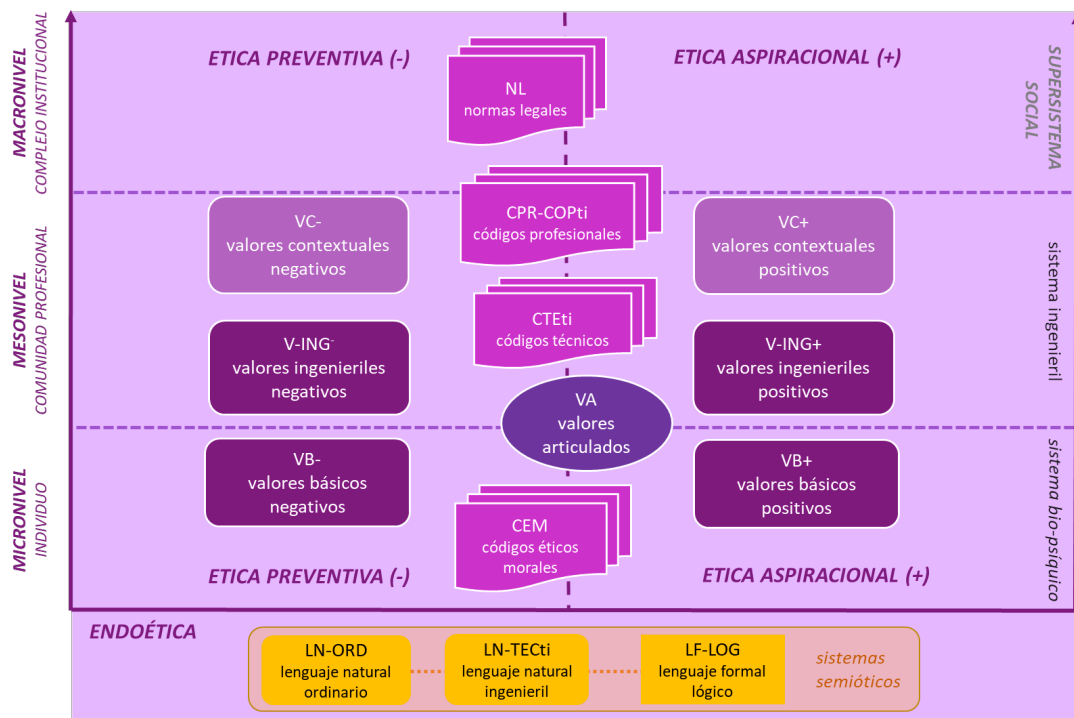


Fig. 5.3.4.b) Componentes de un sistema ético ingenieril (C_SETti)

También para el grupo de los valores se consideran los mismos que en el sistema axiológico, si bien a efectos de simplificación se representan los grupos genéricos de componentes de valores: básicos (VB), tecnológico ingenieriles (V-ING) y valores contextuales internalizados (VC). En estos se consideran incluidos todos los componentes identificados previamente en el sistema axiológico. Los valores componentes pueden ser, como se ha señalado, positivos o negativos. En la tabla adjunta se ofrecen ejemplos, para los distintos tipos de valores, de valores negativos o antivalores.

Tabla 5.3.4.a) Valores negativos o antivalores como componentes del sistema ético ingenieril

Tipos de valores	Ejemplos de valores negativos o antivalores
Básicos (VB) en general	deshonestidad, egoísmo, enemistad, imprudencia, inflexibilidad, soberbia, arrogancia, irrespeto, indiferencia, intransigencia
Básicos cognoscitivos (VB-COG)	ignorancia, imitación, parcialidad, subjetividad, falsedad, imprecisión
Tecnológico ingenieriles (V-ING)	obsolescencia, ineffectividad, ineficacia, ineficiencia, inseguridad, sobre-explotación, residual, improductividad, opacidad, riesgo, disfuncionalidad
Contextuales internalizados sociales (VC-SOC)	pérdida, injusticia, esclavitud, infidelidad, intolerancia, irrespeto, irresponsabilidad, discriminación, impunidad, inequidad, externalidad, vulnerabilidad
Contextuales internalizados ecológicos (VC-ECOL)	contaminación, degradación ambiental, pérdida de biodiversidad, impacto ambiental, sobreexplotación, desequilibrio, insostenibilidad, deforestación, polución, patógeno, toxicidad

En tercer lugar estaría el grupo de componentes de valores agregados (VA), en un sentido de valores ampliados (*cfr.* Mosterín, 1993: 130), en donde se encontrarían elementos como: principios (VA-PRI), objetivos (VA-OBJ), fines (VA-FIN) y criterios (VA-CRI). Este tipo de elementos, aunque puede representarse también como conjunto, son elementos ciertamente característicos e importantes puesto que a su vez pueden ser componentes indispensables de los dos grupos siguientes (códigos y normas).

El siguiente grupo de componentes lo formarían los códigos (C), como componentes-sistema, partiendo de códigos éticos orientados a la persona o códigos ético-morales (CEM), así como especialmente los códigos deontológicos o profesional ingenieril (CPR-COPTi), e inclusive los códigos técnicos específicos (CTETi) de aplicación a determinada ingeniería. Los códigos profesionales, que se derivan del consenso en la práctica profesional, estarían compuestos típicamente por: principios (VA-PRI), criterios (VA-CRI) y valores (V). La conformación y exigencia de estos códigos respondería a un acuerdo de la comunidad profesional ingenieril (COPTi). Los códigos técnicos (CTETi) de la ingeniería correspondiente están formulados para disponer de soluciones técnicas estandarizadas, y vienen representando el ‘estado del arte’ de la práctica ingenieril. Estas soluciones ingenieriles estandarizadas pueden estar meramente orientadas por la práctica, como son las ‘prácticas ingenieriles aceptadas’ como “requisitos que son compatibles con los estándar de práctica requeridos en la ingeniería profesional” (Bahadori & Smith, 2016: 3), o ir más allá como en las ‘mejores prácticas tecnológicas comúnmente disponibles’ (Bahadori & Smith, 2016: 49)³⁹³.

Finalmente estaría el grupo de componentes de normas legales (NL), y por tanto de carácter normativo, tanto las que pueden ser de carácter sectorial (NL-SEC) puesto que se refieren a la legislación sectorial aplicable a los objetos en transformación ingenieril (minería, transporte, agua, energía, telecomunicaciones, etc); como de carácter general (NL-GEN) que son transversales a cualquier ingeniería (práctica profesional, formación, investigación...). A diferencia del grupo anterior, las normas legales se conforman y se exigen en un nivel superior al de la comunidad profesional, y por tanto como mínimo a partir del nivel del complejo institucional de gestión (CIN¹-Gti), aunque emanan típicamente del sistema político,

³⁹³ Bahadori, A. y Smith, S.T. (2016): *Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment*, Springer.

dentro del supersistema social. En este caso, serán consideradas como componentes (internalizados) aquellas normas legales del sector o sectores ingenieriles, así como aquellas que afecten más directamente a cualquiera de las funciones del sistema ingenieril (formación, investigación, producción y gestión).

A partir de lo anterior, puede representarse el conjunto de componentes potenciales de un sistema conceptual ético ingenieril (C_SETi), como:

$$C_SETi = < SLN-ORDi, SLN-TECi, SLF-LOGi, VB, VI, VC, VA-PRi, VA-OBi, VA-FIi, VA-CRi, CEM, CPR-COPi, CTETi, NL-SEC, NL-GEN >$$

donde,

$SLN-ORDi$: componente-sistema de lenguaje natural ordinario en la ingeniería;

$SLN-TECi$: componente-sistema de lenguaje natural técnico ingenieril;

$SLF-LOGi$: componente-sistema de lenguaje lógico en ingeniería;

VB : valores (y antivalores) básicos en ingeniería;

VI : valores (y antivalores) ingenieriles, que incluye los valores ontológicos, epistémicos, metodológicos, axiológicos, éticos y praxiológicos característicos de la ingeniería;

VCI : valores (y antivalores) contextuales internalizados de la ingeniería;

$VA-PRi$: principios (valores articulados) del sistema ingenieril;

$VA-OBi$: objetivos (valores articulados) del sistema ingenieril;

$VA-FIi$: fines (valores articulados) del sistema ingenieril;

$VA-CRi$: criterios (valores articulados) del sistema ingenieril;

CEM : código ético-moral de individuos de las comunidades profesionales ingenieriles;

$CTETi$: códigos técnicos ingenieriles de las comunidades profesionales ingenieriles;

$CPR-COPi$: códigos profesionales o deontológicos de la comunidad profesional ingenieril;

$NL-SEC$: normas legales sectoriales del área de intervención ingenieril;

$NL-GEN$: normas legales generales de aplicación a las actividades ingenieriles, internalizadas desde los sistemas político ($NL-POL$), económico ($NL-ECON$), cultural ($NL-CUL$), del supersistema social ($NL-SOC$), o del sistema ecológico ($NL-ECOL$).

5.3.4.2 Entorno (E) del sistema ético de la ingeniería (E_SETi)

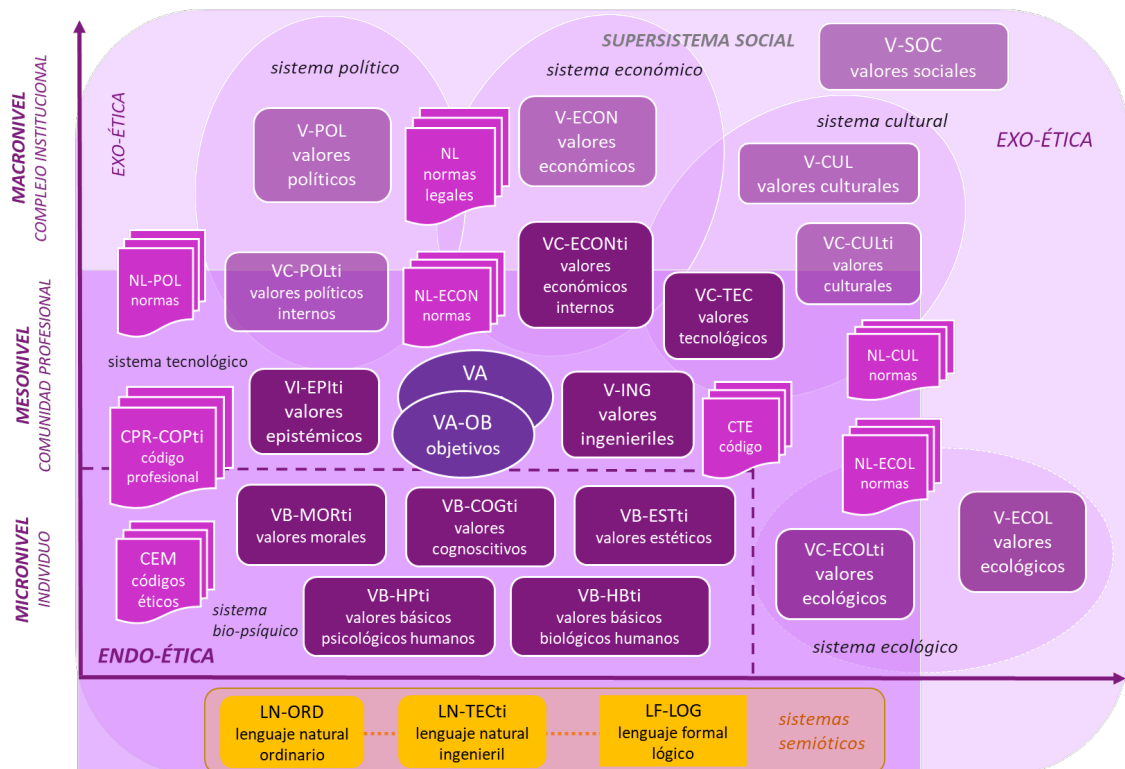
En el entorno más inmediato del sistema ético ingenieril se encontraría el sistema axiológico ingenieril ($SAXti$), dado que se han considerado como subsistemas dentro del sistema ético-axiológico de la tecnología. En tanto parte de los sistemas conceptuales de la tecnología, el sistema ético tiene como entorno al resto de sistemas del sistema complejo ingenieril: sistema óntico material ($SONti$), sistema conceptual epistémico ($SEPTi$), sistema conceptual metodológico ($SMEti$), sistema conceptual axiológico ($SAXti$), y sistemas funcionales praxiológicos ($SPRAti$).

Con esto se caracteriza el entorno más próximo del sistema axiológico. Pero además, al seleccionar los componentes (C) del sistema ético se han dejado fuera un conjunto de elementos del contexto que no están internalizados en la ingeniería, y que forman parte de sistemas con un nivel sistémico diferente: los sistemas (bio-psíquicos, económicos, culturales y políticos) que, siguiendo a Bunge (2009: 59)³⁹⁴ constituirían la sociedad.

Entonces, los elementos (valores, valores articulados, y normas legales) exógenos o externos que nos han quedado del sistema de campo axiológico, a excepción de los bio-

³⁹⁴ Bunge, M. (2009): "Dos enfoques de la Ciencia: Sectorial y Sistémico", *Rev. Real Acad. Ciencias, Zaragoza*. 64: 51-63.

Todos estos elementos de entorno pueden situarse junto a los componentes del sistema ético, para configurar el espacio propio del sistema (endo-ética) junto al espacio exterior de entorno (exo-ética), como puede observarse en la representación adjunta.



Así, el entorno (E) del sistema ético ingenieril (*SETti*) podría representarse como:

donde:

SMEti : sistema conceputal metodológico de la ingeniería;

SONti : sistema óntico material de la ingeniería;

V-TEC : valores tecnológicos (no ingenieriles) no internalizados en la ingeniería;

V-CUL : valores del sistema cultural no internalizados en la ingeniería;

V-ECON : valores del sistema económico no internalizados en la ingeniería;

V-POL : valores del sistema político no internalizados en la ingeniería;

V-SOC : valores del supersistema social no internalizados en la ingeniería;

V-ECOL : valores asignados al sistema ecológico no internalizados en la ingeniería;
NL-SOC : normas legales del supersistema social (incluyendo los sistemas político, económico y cultural) no internalizadas en la ingeniería;
NL-ECOL : normas legales relacionadas con el sistema ecológico no internalizadas en la ingeniería.

5.3.4.3 Estructura (S) del sistema ético de la ingeniería (S_*SETti*)

Como antes, voy a considerar en primer lugar las relaciones endoestructurales, que se dan entre componentes (C-C), y posteriormente las relaciones exoestructurales, que se dan entre los componentes y el entorno (C-E). Estamos, dada la naturaleza abstracta del sistema ético ingenieril, ante relaciones informativas.

Los elementos del sistema ético, tanto componentes como entorno, tienen las mismas características que en el sistema axiológico. Los elementos ‘valores’ (V) son objetos conceptuales con menor o mayor grado de complejidad, con información pragmática valorativa o evaluativa. Los elementos ‘valores articulados’ (VA) son conjuntos diseñados de valores, e incluyen además de información pragmática valorativa, información pragmática descriptiva. Por otra parte, los elementos ‘códigos’ y ‘normas legales’ serían sistemas de valores, que presentan no sólo información pragmática valorativa y descriptiva, sino también información pragmática práctica.

A esto se le puede añadir que, a diferencia de componentes de otros sistemas, la compleja dinámica de valores, como pone de manifiesto Mosterín (1993: 130) cuando afirma que “de un modo máximamente general, podemos hablar de valores siempre que hay tendencias polares atractivas y repulsivas, positivas y negativa”, lo que sugiere tanto una visión dinámica de los propios valores, que se manifestaría en sus interacciones, como en el aspecto cibernético y de estado de equilibrio de los sistemas, que comenta un poco antes: “los sistemas dinámicos autoregulados tienen un estado fundamental o ideal, al que siempre vuelven, después de ser perturbados.”

Así que debe atenderse a las relaciones de competencia entre componentes (valores, objetivos y normas), que tienen que ver con su compatibilidad, por ejemplo, así como otras diferentes características relacionales³⁹⁵.

Para centrar, desde la perspectiva endoestructural, entre estos componentes, se establecería, cuanto menos, una relación informativa sintáctica o estructural, de acuerdo con la denominación de Mosterín (1993).

En todo caso, como se ha observado en los sistemas de campo conceptuales anteriores (epistemológico y metodológico), las relaciones endoestructurales (C-C) son de naturaleza conceptual, informativa. Y como tales, de acuerdo con los tipos de Mosterín (1993), podrán ser de información estructural o sintáctica, o de información pragmática (descriptiva, práctica o valorativa). Ya se ha señalado también cómo toda la información se remite en última instancia a operaciones materiales de comunicación entre agentes, mediadas por sistemas semióticos (lenguajes).

Por otra parte, la exoestructura del sistema de campo ético-axiológico trata de las relaciones entre componentes y entorno (C-E). Se ha señalado cómo podría distinguirse un entorno próximo, de relación más estrecha de los componentes con su entorno, lo que ocurre con el resto de los sistemas del complejo de la tecnología. Y especialmente sobre las

³⁹⁵ Puede verse, por ejemplo sobre conflictos de valores, el caso presentado en Bunge (1980: 183) que pone de manifiesto la posibilidad de valores negativos.

relaciones entre los diferentes componentes con el sistema de campo metodológico y el sistema funcional praxiológico.

5.3.4.4 Mecanismos (M) del sistema ético de una ingeniería (M_{SETti})

El sistema ético de una ingeniería permite, mejor que en otros sistemas conceptuales, establecer los procesos o mecanismos característicos del sistema, completando así el modelo CESM bungeano para este sistema. Se trata de los procesos que, articulando los elementos componentes, y el entorno, a través de las relaciones identificadas, caracterizarían al sistema. En este caso, los procesos más relevantes serían de naturaleza evaluativa o valorativa, entre los que puede destacarse: la responsabilidad en el uso de medios y la consecución de resultados; la gestión de riesgos (*cfr.* Didier, 2009: 428)³⁹⁶ en la incertidumbre; los conflictos de valores (*cfr.* Harris *et al.*, 2009: 84); o la evaluación de la conducta profesional.

Puede avanzarse que tanto los códigos éticos profesionales como las normas legales serían sistemas de valores (por acuerdo, consenso o imperativo) que resultan de los procesos del sistema ético ingenieril, y que en secuencia temporal permiten dar cuenta de la historicidad no solamente del sistema ético ingenieril, sino del conjunto de los sistemas conceptuales ingenieriles y, por su importancia, de todo el sistema complejo de la tecnología ingenieril. En este sentido podría afirmarse que los códigos profesionales (CPR-COPTi), los códigos ingenieriles (CTETi) y las normas legales internalizadas (NL), están diseñados para contribuir a una orientación de la gestión de los riesgos –en escenarios de incertidumbre y potenciales conflictos de valores– de los procesos de transformación ingenieriles. Así como, específicamente, como referentes para la evaluación del conjunto de acciones de la ingeniería, tanto por parte de los profesionales como de la comunidad profesional ingenieril en su conjunto.

³⁹⁶ Didier, C. (2009): 'Engineering Ethics', pp. 426-431, in *A Companion to the Philosophy of Technology*.

5.4 PRÁCTICA INGENIERIL: SISTEMAS FUNCIONALES PRAXIOLÓGICOS (*SPRA²ti*)

He distinguido ya los cuatro haces de sistemas funcionales que representan los sistemas de acciones (sistemas praxiológicos) que dan cuenta de la práctica ingenieril, considerado de forma integrada el sistema complejo de la ingeniería.

Estos cuatro haces representan cuatro grupos de sistemas de funciones que son los procesos o mecanismos (M) característicos de un modelo CESM para el sistema complejo de la ingeniería: i) la función praxiológica de transmisión cultural o académico-docente, que pretende dar continuidad en el tiempo del supersistema ingenieril mediante la transmisión efectiva, a través de la comunidad profesional ingenieril, de las claves de comprensión y operación de todos los sistemas constituyentes del supersistema ingenieril, para producir nuevos miembros de la comunidad profesional ingenieril; ii) la función praxiológica de cambio ingenieril, que atiende a valores-objetivo (maximización de eficiencia técnica e innovación) que explican los procesos tanto de investigación y desarrollo (I+D), como el de innovación (i); iii) la función praxiológica productiva, que lleva a la transformación de cosas o procesos, mediante la combinación de las subfunciones de ejecución material y de gestión de la ejecución (o también de las subfunciones ‘proyecto’ y ‘ejecución material’), hasta la obtención de productos (de valor mercantil o económico) característicos de la disciplina ingenieril; iv) la función praxiológica de gestión del sistema complejo ingenieril, en donde se da cuenta a su vez de funciones más generales del conjunto como la de administración, control y evaluación del sistema complejo ingenieril.

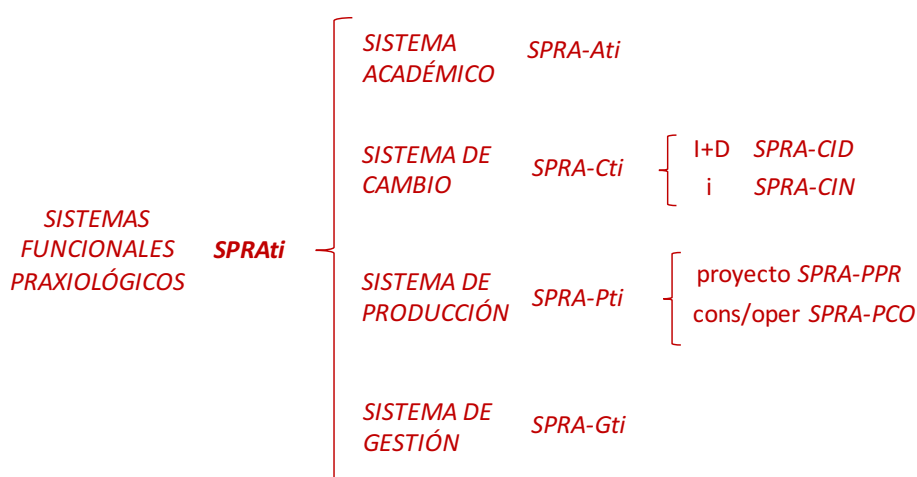


Fig. 5.4.a) Ruta general de elucidación de sistemas funcionales praxiológicos del sistema complejo ingenieril (*S²ING*)

5.4.1 Transmisión cultural ingenieril: sistema praxiológico académico-docente

Esta función podría considerarse como primordial en la conservación y dinámica histórica de largo plazo del sistema complejo de una tecnología ingenieril, por cuanto es responsable de la transmisión (como incorporación cultural) de todo el corpus conceptual de conocimientos, métodos y valores, entre agentes (entre personas concretas) en cuyas mentes se hace disponible ese conocimiento.

La función de transmisión del conjunto de los conocimientos de toda naturaleza de una tecnología ingenieril requiere no solamente de unos agentes (comunidades profesionales académicas ingenieriles) de elaboración y transmisión, sino también de una acumulación de información en soportes adecuados (impresos y digitales, cuanto menos) que tiene que ser conservada y actualizada. Esto podría llevar, en un momento determinado, a considerar un

subsistema dentro del sistema praxiológico académico-docente, como sería el de gestión documental de la cultura ingenieril incorporada para su uso y conservación³⁹⁷.

En todo caso, en este punto voy a proceder a desarrollar y representar gráficamente el sistema funcional praxiológico académico-docente de la ingeniería (*SPRA-Ati*). Para ello, parto de la representación en ‘formato Meadows’ de la estructura de la caracterización tecnológica de Quintanilla (2012), y teniendo en cuenta las reflexiones sobre dicha estructura que han dado lugar al modelo de función praxiológica que ya he presentado³⁹⁸.

Para comenzar defino una estructura básica, con cuatro bloques de acuerdo al siguiente orden: *inputs*, procesos, variables de estado de cosas, y *outputs*. El primero y el último bloque conservan esa posición, pero tanto los procesos como los estados de cosas aparecen en alternancia (proceso/estado de cosas).

En el bloque inicial, de *inputs*, introduzco una primera diferenciación que considero muy importante, al dividir los *inputs* en materiales o conceptuales. Los *inputs* materiales se definen a partir de un espacio que denomino ‘sociedad’ que represento según convención por una nube³⁹⁹ (por tanto como fuente ilimitada a los efectos del sistema praxiológico) de donde se surten los elementos concretos ‘estudiantes’ (esencial por completo al sistema), y los ‘artefactos’. Como he hecho en el sistema ontológico, utilizo colores tierra como fondo para los componentes y relaciones materiales o concretas.

Para simplificar, he trazado solamente el flujo material (representado por una flecha de línea continua)⁴⁰⁰ de las personas (estudiantes) que se incorporan al proceso. Aunque a partir de este punto se entra en el bloque de procesos, creo adecuado describir ya este primer proceso que denomino ‘incorporación comunitaria a la ingeniería’ en el sentido de incorporación de personas de una población⁴⁰¹ a la formación tecnológica ingenieril.

Este proceso se representa mediante una llave de paso (siguiendo el ‘formato Meadows’)⁴⁰², que remite por tanto a una serie relevante de acciones por las que se incorporan estudiantes de ingeniería, formando ya parte de la comunidad de agentes de una tecnología ingenieril (*COPAti*)⁴⁰³, que se reproduce en un rectángulo que representa un estado de cosas⁴⁰⁴, con una anotación de ‘stock’ como variable cuantitativa de control. En esta figura

³⁹⁷ Respecto a la conservación de la ingeniería, más allá de la conservación de su cultura conceptual, estaría la necesidad (*cfr.* Broncano, 2000: 299) de conservar artefactos y determinadas realizaciones materiales, que dan cuenta físicamente de aspectos de la cultura ingenieril tecnológica que difícilmente pueden conocerse (y comprenderse) solamente con la información disponible sobre los mismos. Esto podría llevar al interés de considerar en su momento un subsistema funcional praxiológico de conservación del patrimonio material ingenieril.

³⁹⁸ Debido a la novedad de la propuesta, y dado que se trata del primero de la serie de sistemas funcionales praxiológicos que voy a representar, incidiré en algunas explicaciones sobre los criterios y contenidos de esa representación.

³⁹⁹ La nube en los diagramas de flujo representa un estado de cosas que se caracteriza por considerarse como una fuente (en el caso de entradas) o un sumidero (en el caso de salidas) ilimitado, o que no tiene cambios significativos derivado del régimen ordinario de entradas o salidas del sistema.

⁴⁰⁰ Convencionalmente, por ejemplo en los diagramas de Forrester, se emplean las flechas en línea continua para los canales concretos de materia y energía, y las flechas de línea discontinua para los canales de información.

⁴⁰¹ Puede ser interesante tener en cuenta que la ‘población’ que se incorpora como estudiantes a la formación ingenieril, vienen ya de un proceso formativo previo, que condiciona no solamente el nivel científico y técnico de partida (base), sino también cómo esa población ve la formación ingenieril, y por tanto su inclinación –mayor o menor– hacia esa formación tecnológica ingenieril. Son interesantes los estudios que se realizan, por ejemplo en Pleasants y Olson (2018) “What is engineering Elaborating the nature of engineering for K-12 education” por cuanto inciden en los contenidos sobre tecnología e ingeniería que deberían incorporarse a la formación educativa previa.

⁴⁰² En adelante, la llave de paso representa un proceso o subproceso, y por tanto una acción o sistema de acciones.

⁴⁰³ En lo posible, utilizo la terminología y los acrónimos que he utilizado para los diferentes componentes de los sistemas óntico, epistémico, metodológico, axiológico y ético, así como en los lenguajes en tanto sistemas semióticos.

⁴⁰⁴ Los rectángulos representan aquí ‘estados de cosas’ en el sentido más amplio, refiriéndose tanto a personas como a objetos materiales y, en su caso, también a objetos conceptuales. Me he tomado la libertad de incluir, para mejorar la expresividad de la representación, algunas figuras de personas o de objetos comunes.

aparece también un bucle de balance (B), con la identificación de variables que pueden ser relevantes para la estabilización del sistema⁴⁰⁵. En este caso he identificado, a modo de ejemplo, las variables de: costes (económicos), reputación de la institución académica, la demanda laboral profesional, y los años de duración del proceso formativo. De ello puede derivarse la no linealidad del proceso de incorporación de individuos a las instituciones académicas⁴⁰⁶.

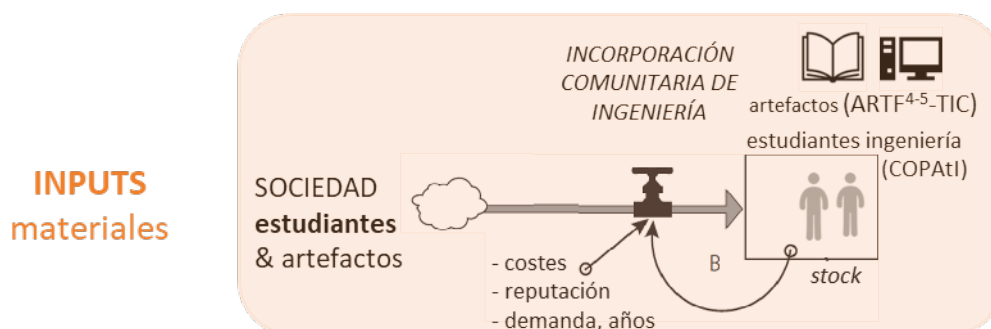


Fig. 5.4.1.a) *Inputs* materiales del sistema funcional praxiológico académico-docente de ingeniería

Por otra parte, he separado los *inputs* conceptuales, en donde entiendo que se encontraría el conjunto de la cultura ingenieril en el sentido más amplio, hasta el punto de que lo hago equivalente al modelo de sistema complejo de una tecnología. Supongo que la idea de considerar por separado los *inputs* conceptuales, de la que no he encontrado referencias, es consistente con el planteamiento de la tecnología ingenieril como sistema complejo, puesto que permite integrar con más claridad los objetos conceptuales en los procesos, lo que se hace especialmente necesario al tratar el sistema praxiológico académico-docente.

Establezco el punto de partida de los *inputs* conceptuales en el conjunto limitado (representado entonces por un rectángulo) de objetos conceptuales que forman los sistemas epistemológico, metodológico, axiológico y ético, así como en los objetos conceptuales del modelo de representación del sistema ontológico concreto y del propio sistema praxiológico de la tecnología ingenieril. Como *inputs* conceptuales, estos campos tecnológicos, con contenido exclusivamente de carácter conceptual, constituirían el potencial de conocimiento (en el sentido más amplio) sobre la ingeniería, que represento como ΣK_{ti} . Pero, como en el caso anterior, los inputs vienen inmediatamente seguidos ya de un proceso preparatorio, por así decirlo, que voy a ir desgranando. De ahí que se presente un proceso de ‘incorporación académica de ingeniería’, siguiendo la noción de ‘incorporación cultural’ de Quintanilla (2017), por el que ese potencial de conocimiento va a convertirse en conocimiento ingenieril disponible ($\Sigma K D_{ti}$), que no es sino aquella parte del conocimiento potencial que efectivamente se ha incorporado a través de la actividad de la comunidad académica (COPAti), como componente del sistema ontológico concreto (de ahí esa diferenciación

⁴⁰⁵ Los mecanismos cibernéticos de estabilización o realimentación de los sistemas son, junto con los procesos y los estados de cosas, los tres elementos fundamentales que articulan la estructura del sistema funcional praxiológico. En el presente sistema funcional praxiológico académico-docente sólo he identificado mecanismos de estabilización (B), para los que he intentado identificar algunas de las variables que pueden incidir –más allá de la intencionalidad pretendida de las acciones– en la modificación del flujo de entrada y por tanto del estado de cosas considerado.

⁴⁰⁶ Este sencillo ejemplo pone ya de manifiesto que el comportamiento agregado de las variables (independientes) puede definir comportamientos no lineales del proceso. Lo que, por otra parte, se considera el comportamiento más frecuente (y no siempre tenido suficientemente en cuenta) de los sistemas artificiales, diseñados.

mediante el color). Como se observa, ese conocimiento disponible (cultura), de naturaleza conceptual –mediado por los sistemas semióticos correspondientes– va a residir en las personas (probablemente en la mente) que conforman la comunidad académica. En la figura se muestra la comunidad académica⁴⁰⁷ vinculada (con un subproceso de realimentación) con artefactos (ARTF⁴⁻⁵-TIC) que vienen a ser los soportes de memoria externa analógica o digital de esa cultura tecnológica incorporada. Así pues, el proceso de incorporación académica supone como resultado un estado de cosas: una comunidad académica (junto con sus memorias externas) con un determinado conocimiento disponible.

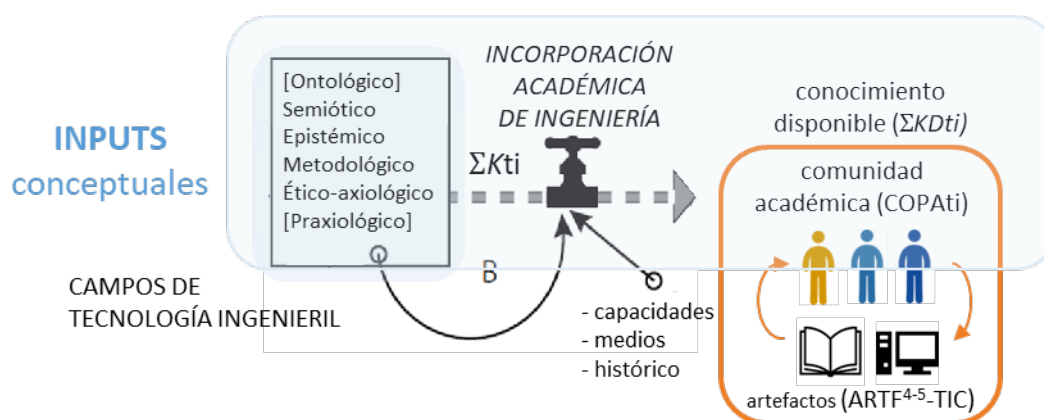


Fig. 5.4.1.b) *Inputs* conceptuales del sistema funcional praxiológico académico-docente de ingeniería

También como en el caso del proceso de incorporación de los *inputs* materiales, el proceso de incorporación académica de la tecnología tiene unas variables de bucle de estabilización que, más allá de la intencionalidad específica de la comunidad por incrementar su capital académico, depende de otras variables. Entre las que he identificado las capacidades reales de la comunidad académica, los medios humanos y materiales disponibles, así como el histórico de incorporación académica del conocimiento tecnológico ingenieril que está en progreso continuado (*output* del sistema funcional praxiológico de cambio ingenieril).

En este punto, tenemos dos líneas paralelas de entrada (material y conceptual), inclusive sus procesos de incorporación, que ya son funciones auxiliares de la función esencial del complejo institucional académico de ingeniería (CIN-Ati), como es la ‘formación ingenieril titulada’ que viene a surtir el *stock* de capital humano de profesionales en ingeniería.

En la figura ya puede observarse de forma completa el conjunto de las funciones que podrían darse en un complejo institucional académico de ingeniería, entendido como un conjunto articulado de componentes concretos: comunidad académica (formadores), estudiantes y artefactos; y un determinado conocimiento disponible que deben incorporar los estudiantes durante los procesos formativos secuenciados, hasta llegar a culminar el proceso de ‘formación ingenieril titulada’.

El proceso de incorporación del conocimiento ingenieril se realiza por la comunidad académica, con unas referencias a objetivos (parciales) para las variables de estado de cosas (la cualificación tecnológica ingenieril progresiva del alumnado), y mediado por los distintos sistemas semióticos que están posibilitando la transferencia efectiva de la información (representativa, operativa y valorativa). En la figura he presentado dos procesos intermedios

⁴⁰⁷ En este caso, los diferentes colores ilustran la pluralidad académica en términos de especialidades y también de diferentes ‘escuelas’ de pensamiento, cultura o práctica ingenieril.

de formación (cuyos estabilizadores son los objetivos intermedios), en los que tiene un relevante papel los métodos docentes académicos (MF-DOCTi), del sistema conceptual metodológico. En este sentido puede destacarse, como no podría ser de otro modo, que este sistema funcional praxiológico incluye componentes, al menos: del sistema ontológico concreto (COPAti, ARTF⁴⁻⁵-TIC, CINAt); de sistemas semióticos (lenguajes y sistemas gráficos); del sistema epistemológico (Kti en sentido más amplio); del sistema metodológico (MF-DOCTi); y de los sistemas axiológico y ético (Vti, VA-OBti).

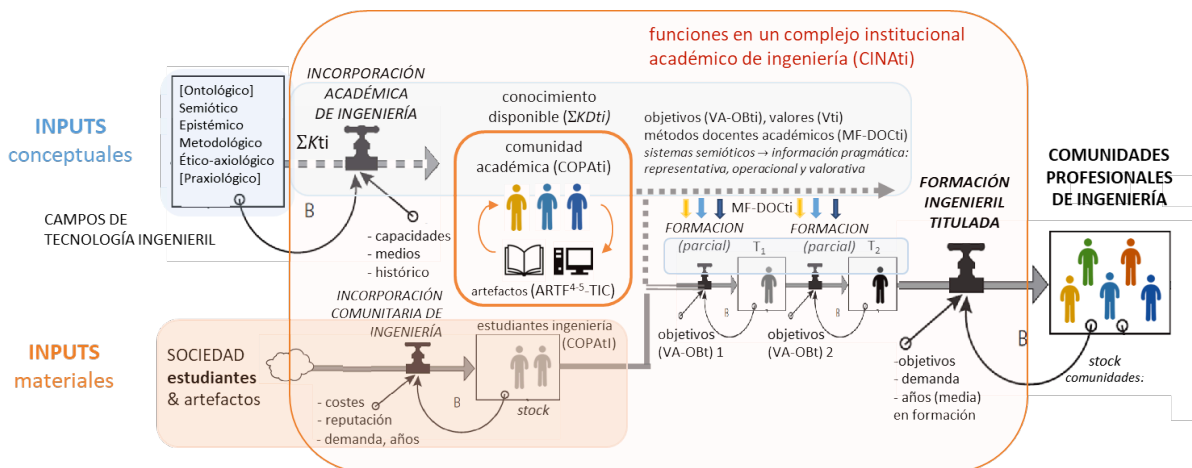


Fig. 5.4.1.c) Funciones praxiológicas en un complejo institucional académico de ingeniería

La secuencia de procesos y estado de cosas en el complejo institucional académico de la ingeniería lleva hasta el resultado pretendido, como es un terminado conjunto de individuos con formación ingenieril titulada que, a partir de ese momento, salen del complejo institucional académico, para pasar –como profesionales– a las diferentes comunidades profesionales ingenieriles. También este nuevo estado de cosas, con un stock de capital humano formado ingenierilmente, está estabilizando el proceso previo, de formación tecnológica, con variables como: objetivos, demanda profesional, o años de media de la formación titulada, entre otras. El stock de capital humano tecnológicamente formado podría considerarse, en tanto resultado esperado como la salida (*output*). Y lo es, pero solamente de las funciones del complejo académico, pero no de todo el sistema funcional praxiológico (académico-docente) de una tecnología ingenieril, que tiene que completar los *outputs*.

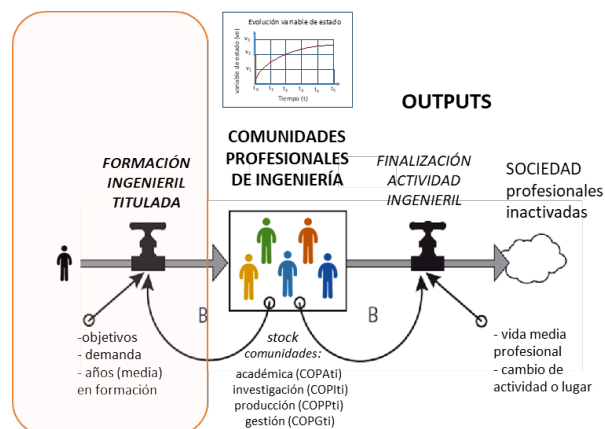


Fig. 5.4.1.d) Outputs del sistema funcional praxiológico académico-docente de una ingeniería

Antes de continuar con la consideración anterior, quiero volver a explicar dos aspectos de lo que denomino comunidad profesional de ingeniería. En primer lugar, que esa comunidad profesional genérica puede subdividirse en cuatro comunidades que coinciden precisamente con los cuatro sistemas funcionales praxiológicos (académico-docente, de cambio, productiva y de gestión), puesto que los agentes de cada una de las comunidades (que en esta función han sido formados) estarán incorporados a las respectivas funciones praxiológicas de la ingeniería. En segundo lugar, quiero llamar la atención sobre un elemento nuevo de la figura, una gráfica de evolución temporal, que viene a poner de manifiesto que las variables de estado de cosas tienen un historial, que da cuenta de la historicidad del sistema en su conjunto.

Ahora, continuando con el razonamiento anterior, en la figura se presentan los *outputs* del sistema funcional, en donde se muestra que más allá de los profesionales que se incorporan a las comunidades profesionales de ingeniería está el *output* final, en la sociedad, de las personas tituladas en ingeniería ‘inactivadas’ profesionalmente. Considero esta finalización como un proceso que afecta al stock de capital humano disponible de la comunidad profesional, y en donde se aprecian variables del estabilizador, como: la vida media profesional, o el cambio de actividad profesional, o del marco geográfico de referencia.

Con todo lo anterior se dispondría de una representación gráfica del caso de un sistema funcional praxiológico académico-docente de una ingeniería.

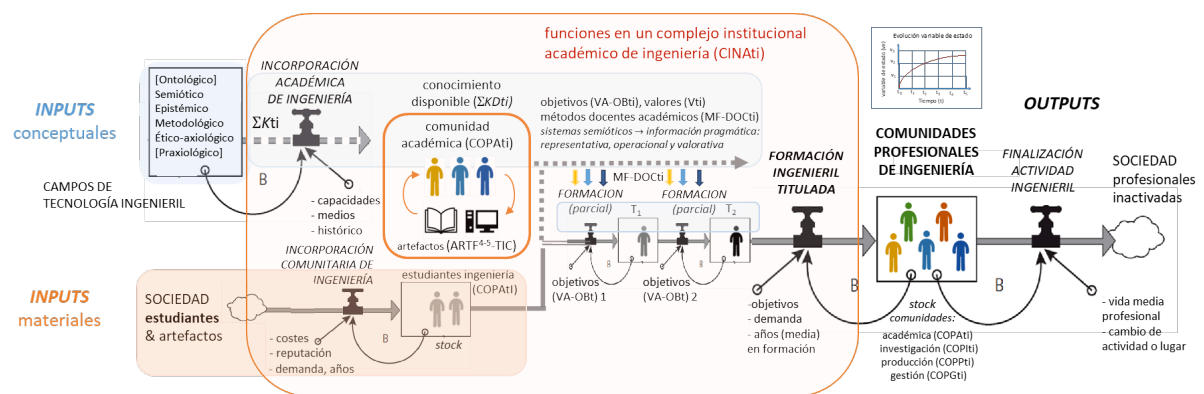


Fig. 5.4.1.e) Sistema funcional praxiológico académico-docente de una ingeniería

5.4.2 Cambio ingenieril: sistema praxiológico de I+D+i (SPRA-Cti)

Este sistema funcional pretende dar cuenta de un aspecto nodular de la ingeniería (y de las tecnologías, en general) como es el cambio tecnológico ingenieril (*SPRA-Cti*). Voy a emplear la expresión de ‘cambio tecnológico’ en un sentido que pretende abarcar también – sin entrar en mayores discusiones– las nociones de ‘progreso tecnológico’, ‘evolución tecnológica’ o ‘desarrollo tecnológico’, por citar algunas de las más frecuentes (*cfr.* Quintanilla, 2005). En todo caso, el cambio tecnológico ingenieril –en su historicidad– se puede presentar como el motor de transformación directa, tanto de todos y cada uno de los sistemas ingenieriles (óntico material, semióticos, epistémico, metodológico, axiológico, ético y praxiológicos) como del conjunto del sistema complejo de la ingeniería.

El cambio tecnológico ingenieril se puede observar en objetos (materiales, formas...), conocimientos, prácticas, objetivos, procesos y resultados ingenieriles, lo que significa tratar de la dinámica de cambio de los aspectos ónticos materiales, epistémicos, metodológicos, axiológicos, éticos, y praxiológicos de la actividad tecnológica ingenieril. El sistema funcional praxiológico de cambio ingenieril, o de investigación e innovación en ingeniería

daría cuenta entonces tanto del sistema de investigación y desarrollo (I+D), como del de innovación (i), lo que se denomina como I+D+i de forma agregada.

Aunque en algunas de las representaciones anteriores, por motivos de economía descriptiva, me he referido a este sistema como sistema praxiológico de investigación, lo cierto es que –para el presente nivel de elucidación– conviene poner de manifiesto que puede analizarse mejor si se consideran dos subsistemas: el de investigación ingenieril, y el de innovación ingenieril. Dos subsistemas que, al margen de que puedan llegar a tener un resultado equivalente, se diferencian ciertamente en cuanto a los *input* o componentes de entrada al sistema praxiológico, ya que el subsistema de investigación requiere necesariamente partir de una novedad suficiente. Sin embargo, debe tenerse en cuenta, siguiendo a Broncano (2006: 74) que “la novedad absoluta es casi imposible, y lo que realmente diseñamos son aspectos de los artefactos: nuevas funciones, nuevos materiales, nuevas formas, etc. Ciertamente, el diseño de funciones nuevas es siempre mucho más novedoso que el de formas y éstas que el de materiales.”⁴⁰⁸

Se entiende por investigación tecnológica ingenieril (o investigación y desarrollo tecnológico ingenieril) al conjunto de acciones creativas ingenieriles que se enfrentan, gracias a métodos de diseño, a un determinado problema (como necesidad de producto o de proceso) de su ámbito de actividad, pero sin disponer de alguna solución previa que haya obtenido resultados satisfactorios equivalentes. En esto la investigación tecnológica ingenieril está en los campos conceptuales del descubrimiento (similar en ciertos aspectos al hecho del descubrimiento científico) y de la invención, que comparten una valor-objetivo esencial: la novedad radical. A diferencia del de investigación, el subsistema de innovación trabaja a partir de los resultados de un subsistema de investigación y desarrollo, o bien –en la mayor parte de los casos– a partir de los resultados de otros procesos de innovación anteriores.

5.4.2.1 Subsistema praxiológico de investigación y desarrollo (I+D) ingenieril

Desde el campo de los descubrimientos o de la invención⁴⁰⁹, la investigación avanza, desde un nivel primario de idea como solución (a un problema de tipo inverso) mediante el desarrollo de la investigación hacia una solución capaz de satisfacer requisitos como la prefactibilidad. Estas acciones suponen operaciones de diseño, así como eventualmente, la elaboración de modelos y prototipos, hasta un resultado que pueda considerarse factible y útil. Finalmente, este objeto, artefacto o proceso, puede ser protegido (en términos de propiedad intelectual), mediante una patente⁴¹⁰. En todo caso, el nuevo objeto, artefacto o proceso, está en condiciones de formar parte –por primera vez– de los mercados de bienes y servicios.

El subsistema de cambio ingenieril mediante investigación (I+D) es un sistema funcional praxiológico de cambio ingenieril compuesto por agentes (comunidad profesional ingenieril de investigación) que realizan acciones intencionales en donde se opera, a partir de unas entradas (*inputs*) mediante objetos (conceptuales y materiales) que definen estados de cosas, con el fin de descubrir (y proteger económicamente) salidas (*outputs*), que son de naturaleza

⁴⁰⁸ Broncano, F. (2006): “Diseño y representación en la ingeniería”, en: Aracil (dir.) *Curso sobre Ingeniería y pensamiento*.

⁴⁰⁹ Aquí el término ‘invención’ puede relacionarse con el sentido de McCarthy (2009: 58), quien apela al *Oxford Handbook of Innovation* para señalar que “la invención es la primera ocurrencia de una idea para un nuevo producto o proceso, mientras que la innovación es el primer intento de llevarlo a la práctica”. Sin embargo, entiendo que el uso al que apela de ‘innovación’, como puesta en práctica, estaría más cerca del término desarrollo (D), que del de innovación (i) que voy a emplear más adelante. McCarthy, N. (2009): *Engineering. A Beginners Guide*, Londres: OneWorld Pub. Nota: utilizo la referencia de Natasha McCarthy puesto que se trata de una destacada colaboradora de Royal Academy of Engineering.

⁴¹⁰ La patente es una figura jurídica asentada en sistema económico industrial, que tiene por objeto la protección durante un tiempo determinado, de una novedad tecnológica.

conceptual (patente) y material (producto), y que de forma conjunta permiten situar un nuevo producto (entendido en el sentido más amplio) en el mercado.

Esto se representa, muy esquemáticamente, por una secuencia desde los *inputs*, pasando por una acción dada, hasta un estado de cosas. Y así hasta el resultado final como *outputs*, en tanto estado de cosas final. Como se ha observado ya, la representación incluye solamente los elementos que se consideran más importantes para dar cuenta del sistema funcional praxiológico. Así, se atiende en todo caso a los agentes y sus sistemas semióticos (como sistemas puente entre la cultura ingenieril y la ontología material ingenieril), los estados de cosas (tanto conceptuales como materiales), y las acciones intencionales que van transformando los estados de cosas hasta la finalidad pretendida.

Este sistema praxiológico parte de una serie de *inputs*, entre los que se distinguen los conceptuales y los materiales. Estos dos tipos de inputs marcan dos filas paralelas, interrelacionadas, de acciones y de estados de cosas, hasta llegar a las salidas (*outputs*). La superior (azul) es la línea en que predominan los elementos de naturaleza conceptual, mientras que la línea inferior (ocre) es aquella donde están más presentes los elementos materiales. Como va a poder observarse, la representación que voy a hacer a partir de ahora de los sistemas praxiológicos tiende a ser más sencilla y homogénea, para que queden de relieve los elementos y estructura comunes –más que las diferencias– entre los sistemas funcionales praxiológicos. Además, en aras a esta sencillez, las representaciones de los sistemas funcionales praxiológicos se centran en las relaciones internas (endoestructura) de los sistemas componentes de la ingeniería, y se omiten parte de las relaciones de retroalimentación entre sistemas, como las relaciones de estos sistemas componentes con el entorno del supersistema social (S^2SOC) y supersistema ecológico (S^2ECOL).

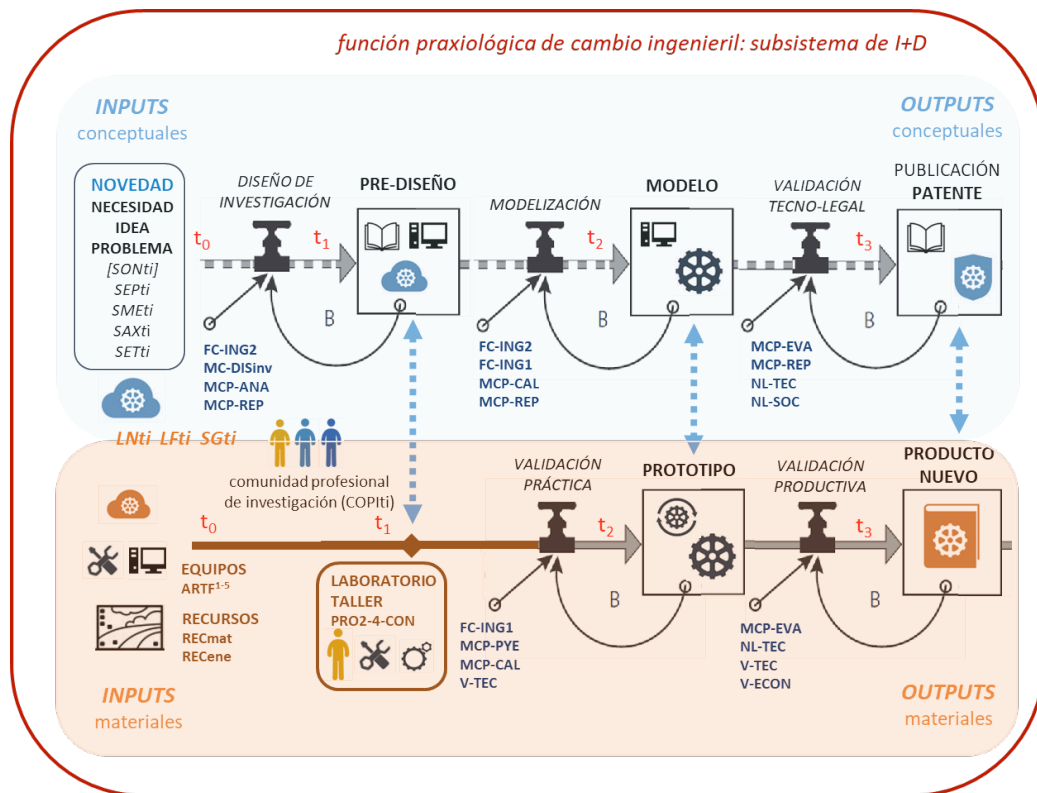


Fig. 5.4.2.a) Sistema funcional praxiológico de cambio ingenieril: subsistema de I+D

Puede entenderse que el punto de partida del proceso de investigación ingenieril, con el mayor grado de novedad, parte de interacciones necesidad-idea-problema, que a su vez están relacionadas con las representaciones disponibles del sistema óptico material (*SONti*), y la disponibilidad de conocimientos (*SEPtí*), de métodos (*SMEti*) y de valores (*SAXti*, *SETti*), tanto de la ingeniería como de la tecnología abarcante. Estos elementos se ponen en relación desde la comunidad profesional ingenieril de investigación a través de los lenguajes (naturales y formales) y sistemas gráficos, como sistemas semióticos puente.

Como inicio (t_0) la primera acción formalizada suele ser el diseño ingenieril para la invención (MC-DISinv), desde un fondo de conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2), y en donde típicamente pueden utilizarse métodos de análisis (MCP-ANA) y de representación (MCP-REP). Al mismo tiempo, en la capa material, puede considerarse que los *inputs* materiales (equipos y recursos) presentan, en cierto modo, el contexto material en que puede realizarse la invención. Un contexto material que aparece, mediante las representaciones, entre los componentes de los sistemas conceptuales epistémico y metodológico.

En un siguiente momento (t_1), las acciones de diseño de investigación llevan –incluyendo un bucle (B) de interacción– hasta un estado de cosas como resultado parcial, que puede denominarse diseño o pre-diseño, y que sería una descripción relativamente detallada del espacio de posibilidades de la novedad. Este pre-diseño está conectado con la realidad material de la novedad, a través de operaciones de ensamblaje y transformación en laboratorio o taller, partiendo de los *inputs* materiales descritos. Puede señalarse que en esta línea material, se hace más relevante la participación de agentes de COPIti con elevadas capacidades de conocimiento operacional o primario (FC-ING1).

Desde el prediseño contrastado materialmente, pueden considerarse una acción más conceptual (modelización) y una más material (validación práctica). En la primera se combinan conocimientos ingenieriles secundarios y primarios en métodos de cálculo y representación, para modelizar (matemática o informáticamente) las características y eventuales respuestas del diseño de invención. En la línea más material, las acciones persiguen la validación práctica de la invención, con un dominio de los conocimientos ingenieriles primarios, y de métodos (desde los de prueba y error hasta los de cálculo). Esta validación práctica buscaría que la invención sea adecuada a valores característicos tecnológicos e ingenieriles. Estas acciones llevarían a un momento (t_2), en donde el estado de cosas estaría formado por: un modelo (conceptual) y un prototipo (material) de la invención.

Las siguientes acciones conducirían ya hasta los resultados finales (*outputs*). En la capa más conceptual, el modelo-prototipo sería objeto de acciones para su validación técnico-legal. En esta parte, además de la comunidad profesional ingenieril de investigación (COPIti), participarían también agentes de la comunidad profesional ingenieril de gestión (COPGti), del complejo institucional de investigación, así como de complejos institucionales del supersistema social. Las acciones incluyen métodos de evaluación y de representación, así como relaciones con normas legales tecnológico ingenieriles y normas legales sociales, para la protección del invento mediante patente.

Por su parte, en la capa material se desarrollan acciones para la validación productiva del invento, atendiendo a métodos de evaluación en relación con las normas legales técnicas y valores técnico ingenieriles, así como –señaladamente– los valores económicos⁴¹¹ del nuevo producto. Todo esto llevaría en un momento dado (t_3) al resultado final (positivo) en que la comunidad profesional ingenieril de investigación obtendría un producto nuevo patentado.

⁴¹¹ Incorporar los valores económicos supone la necesidad de tener en cuenta, como se verá también más adelante en el sistema praxiológico productivo, un tipo específico de relación informativa pragmática (descriptiva) como es la monetaria.

Al final de la capa conceptual se indica, como estado de cosas, la posibilidad de ‘publicación’ como puesta a disposición de la comunidad profesional ingenieril de investigación, y de otras comunidades tecnológicas y científicas, de parte o la totalidad de los conocimientos teóricos y prácticos obtenidos durante el proceso de investigación ingenieril. La publicación puede realizarse no solamente del resultado final, sino de cualquiera de los resultados intermedios.

En relación con esto último, conviene hacer una precisión respecto al subsistema praxiológico de I+D de la ingeniería, y es que la investigación no siempre da resultados. Podría entenderse que un no-resultado, o sea un fracaso de la investigación, también es un resultado puesto que puede alcanzarse algún estado intermedio, o en todo caso muestra una vía tecnológica infructuosa. Pero, sin embargo, como se vio antes, al contrario que las comunidades científicas que son más abiertas y transparentes, las comunidades tecnológicas, y como tal la comunidad profesional ingenieril de I+D+i son más resistentes a la transferencia de información abierta y, por supuesto, a facilitar datos sobre vías incorrectas para la resolución problemas.

Habitualmente, ese nuevo producto patentado con que ha terminado el sistema praxiológico de I+D del cambio ingenieril, se incorporaría al mercado mediante los proceso productivos, formando parte ya del sistema praxiológico de producción ingenieril. Como se observa, ese nuevo producto acabará con el tiempo en la obsolescencia ingenieril, tanto por la pérdida de condición de la patente, como por el desajuste de sus características y cualidades en los mercados futuros. De ahí la importancia del sistema de I+D de cambio ingenieril, así como de su historicidad.

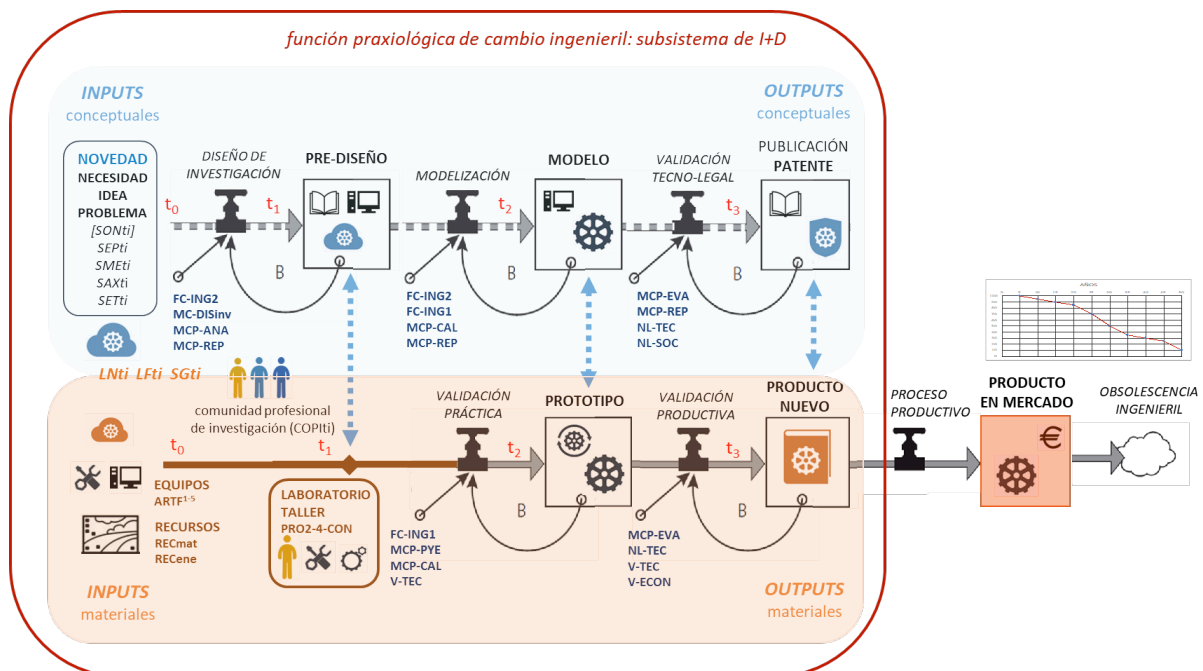


Fig. 5.4.2.b) Sistema praxiológico de cambio ingenieril (I+D) y conexión con sistema productivo

En todo caso, es conocido y aceptado que la investigación tecnológica es una actividad de resultados inciertos, pero que si bien tiene limitados resultados al analizar los casos concretos, tiene mejores resultados cuando se analizan los casos más globalmente. En contrapartida, en la ingeniería hay un camino relativamente más previsible para obtener resultados y mucho más frecuentado: la innovación tecnológica ingenieril.

5.4.2.2 Subsistema praxiológico de innovación (i) ingenieril

La innovación es tan importante que Quintanilla (2005: 62) distingue al ‘imperativo de innovación’ como una de las dos notas características⁴¹² de las tecnologías modernas, después de señalar que “en la tecnología actual la innovación es un imperativo con el que se cuenta de antemano. (...) En el diseño tecnológico actual los artefactos se diseñan ‘para ser mejorados’ de inmediato”.

En este punto, y antes de continuar con la innovación ingenieril como subsistema praxiológico del sistema de cambio (I+D+i), querría precisar que la innovación en un sentido amplio (y en tanto mejora de un producto o proceso preexistente) está presente en cada uno de los cuatro sistemas praxiológicos que considero.

Como he anticipado, el subsistema funcional praxiológico de la innovación tecnológica ingenieril, a diferencia del subsistema de investigación, tiene como uno de sus *inputs*, un objeto, artefacto o proceso que ya es tecnológicamente operativo. La innovación es una mejora sobre un objeto o proceso, sobre una invención ya existente. Entonces, el valor-objetivo de la innovación es la mejora (introduciendo una novedad parcial) a partir de un objeto o proceso preexistente.

Ese punto de partida más determinado de la innovación le permite avanzar con mayor certidumbre, mediante acciones creativas de diseño y elaboración de prototipos evaluables, hacia ese incremental de valor que es el resultado pretendido de la actividad. Una vez innovado el objeto o proceso, puede ser objeto de protección⁴¹³ previa a su incorporación al mercado de bienes y servicios.

La descripción y representación de este subsistema praxiológico de innovación (i) para el cambio ingenieril sigue una estructura similar a la del anterior. Se presentan dos capas, en la que domina lo conceptual (superior) y en la que destaca lo material (inferior). El punto de partida, como *inputs* conceptuales, está en la noción de ‘mejora’ en relación con los elementos disponibles de los sistemas conceptuales ingenieriles. Como *inputs* materiales, el fundamental es el objeto preexistente (producto en mercado)⁴¹⁴ que pretende ser mejorado mediante la función praxiológica de innovación. También se incluyen como *inputs* materiales los objetos y materiales de contexto del producto a mejorar.

La función praxiológica de innovación se desencadena a partir de la voluntad de los agentes de la comunidad profesional ingenieril de investigación (COPIti)⁴¹⁵ de producir una modificación o cambio a partir de un producto (sistema técnico) existente, de modo que se mejoren sus características. Para ello, a través de los lenguajes (natural, formal y gráfico) de la ingeniería se opera con los elementos de los sistemas conceptuales para promover transformaciones materiales conformes a los resultados perseguidos. El punto de partida (t_0) es entonces el producto de mercado y sus características, en relación con la mejora del mismo. Para ello los agentes de COPIti realizan las acciones de diseño de innovación, en donde dominan los conocimientos ingenieriles primarios, y se aplican también métodos de prueba y error, orientados hacia unos determinados valores tecnológicos ingenieriles (como valores-

⁴¹² Según el autor, la otra nota característica de las tecnologías es el ‘principio de maximización de la eficiencia’.

⁴¹³ La protección mercantil de la innovación, en correspondencia con la naturaleza de la misma, puede tener una intensidad menor que la patente, como son los ‘modelos de utilidad’.

⁴¹⁴ Puede señalarse que la función praxiológica de innovación puede partir bien de un invento (producto nuevo) como de una innovación (producto innovado).

⁴¹⁵ Puede observarse que utilizo, por extensión, la denominación de ‘comunidad profesional ingenieril de investigación’ para los agentes principales de la comunidad de cambio ingenieril, tanto para la función praxiológica de I+D como para la de innovación. Si bien en un análisis más detallado cabría también diferenciar entre la comunidad de investigación de la de innovación, me parece que el tratamiento genérico (y habitual) puede ser suficiente.

objetivo). Esto marca una distancia con la función praxiológica de investigación, ya que el punto de partida y los objetivos están más determinados desde el principio del proceso.

En un determinado momento (t_1) las acciones de diseño de innovación permiten disponer, como estado de cosas, de un ‘re-diseño’. Un término con el que quiero poner de manifiesto – como contraposición a la novedad radical de la invención– la proximidad en términos de diseño (*cfr.* Bucciarelli, 2003: 19) que se da habitualmente entre el producto inicial y el producto mejorado. El espacio de posibilidades de rediseño del producto se pone inmediatamente en contacto con las condiciones de contexto de operación del producto, tanto en talleres como en complejos productivos.

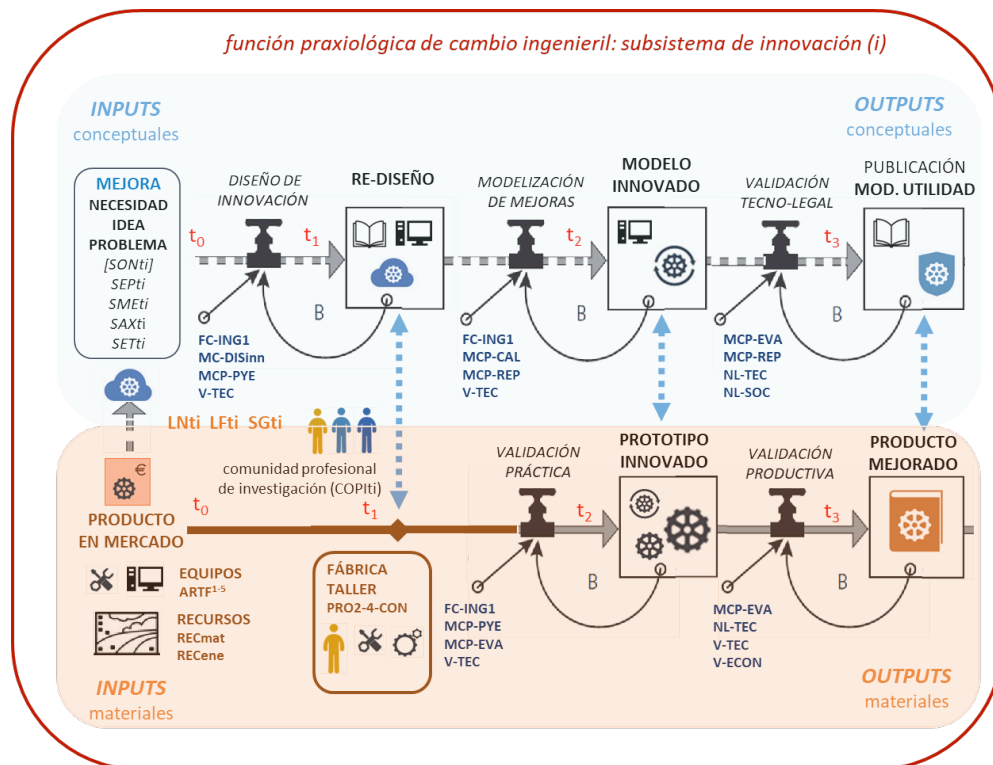


Fig. 5.4.2.c) Sistema praxiológico de cambio ingenieril: innovación (i) ingenieril

Desde este punto se avanza con acciones de naturaleza fundamentalmente conceptual, como son la modelización de las mejoras, en donde entran en juego los conocimientos primarios ingenieriles, así como métodos de cálculo y de representación, orientados a la mejora en relación con determinados valores tecnológicos ingenieriles. En correspondencia (material) se produciría la validación práctica, mediante métodos de prueba y error, así como métodos de cálculo, en el marco evaluativo de los valores tecnológico ingenieriles más destacados. Estas acciones llevarían, en un momento determinado (t_2) a disponer, como estado de cosas, tanto de un modelo innovado como de un prototipo innovado.

A partir de este punto, de una forma similar a la del caso anterior (función praxiológica I+D) se orientarían las acciones de los agentes (COPIti, COPGti y complejos institucionales), para la validación técnico-legal y la validación productiva. La primera, con métodos de evaluación y representación referidos a las normas legales tecnológicas y del supersistema social, llevarían a disponer de un ‘modelo de utilidad’ o figura similar de protección de la mejora. Por su parte, en la capa material, con la validación productiva los agentes utilizan métodos de evaluación y referencias normativas legales tecnológicas, así como valores

tecnológicos y valores económicos, con la finalidad de validar un producto mejorado. Así se alcanza en un momento dado (t_3) como resultado final del sistema praxiológico de innovación para el cambio ingenieril un determinado estado de cosas: un producto mejorado protegido mediante la figura de modelo de utilidad.

En este final de la capa conceptual se indica la posibilidad de ‘publicación’ como puesta a disposición de la comunidad profesional ingenieril de investigación, y de otras comunidades tecnológicas y científicas, de parte o la totalidad de los conocimientos teóricos y prácticos obtenidos durante el proceso de innovación ingenieril. La publicación puede realizarse no solamente del resultado final, sino de cualquiera de los resultados intermedios.

5.4.3 Produciendo: sistema praxiológico de producción en ingeniería (*SPRA-Pti*)

El sistema praxiológico productivo de la ingeniería (*SPRA-Pti*) es un sistema funcional (del sistema complejo de una ingeniería) que da cuenta del sistema de acciones, de la comunidad profesional (productiva) ingenieril, intencionalmente orientado a la transformación técnicamente eficiente de estados de cosas (como estados origen o materias primas) para obtener como resultado productos (bienes o servicios) valiosos para la sociedad.

Al estudiar el sistema óntico material de la ingeniería se han trabajado con detalle, en perspectiva sistémica, las nociones relativas a estados de cosas: objetos simples (naturales y artificiales), objetos complejos, artefactos (desde un nivel de complejidad primario hasta el cuaternario) y productos. Asimismo, y en relación con los anteriores, se han considerado diferentes tipos de resultados (cambios de estado) derivados de acciones intencionales: acontecimiento elemental, ensamblaje de sistema, producción artificial de procesos en sistemas, o modificación (cambios en la estructura) de sistemas.

Expresado en una forma sencilla, el sistema funcional praxiológico productivo de la ingeniería pretende dar cuenta del modo en que se obtienen finalmente los productos (entendidos como bienes o servicios a la sociedad) a través de sistemas de acciones o sistemas praxiológicos ingenieriles que combinan variadas técnicas de intervención sistémica: incorporación (a sistemas) de procesos artificiales, modificación (estructural) de sistemas, y ensamblaje de sistemas. Este último puede correlacionarse intuitivamente con casi cualquier actividad ingenieril, mientras que los otros tipos se entienden mejor con algunos ejemplos. Para esto tomo algunos ejemplos (ingenieriles) que maneja Quintanilla (2005: 82-83), donde estarían, para el primer tipo, casos como el de la síntesis de una nueva sustancia, o la que se produce en un sistema de acequias para riego o el reactor de una central nuclear; mientras que para la ‘modificación de sistemas’ menciona casos como el templado del acero o amalgamamiento de la plata, la reparación de automóviles, la modificación de un edificio, un nuevo mecanismo en una máquina, la conservación de un parque natural o la recuperación de un hábitat natural.

Como puede observarse, dado que el sistema praxiológico productivo es tan central, cualitativa y cuantitativamente, para la ingeniería (y para las tecnologías, en general), es por lo que habitualmente se considera que es el sistema de acciones característico de la ingeniería. Por tal motivo, este sistema praxiológico productivo ingenieril podría correlacionarse, en cierto modo, con el ‘subsistema intencional del sistema técnico’ de Quintanilla (2005: 95) que incluye “los agentes intencionales del sistema y los componentes materiales que son objeto de acciones intencionales por parte de los agentes”, en tanto que distingue a su vez dos subsistemas que pueden dar cuenta conjuntamente de las actividades productivas, y que son “el de ejecución y el de gestión”.

Esta relevante distinción de Quintanilla permitiría, a su vez, distinguir dentro de nuestro sistema praxiológico productivo ingenieril en esos dos subsistemas. En este sentido, el

subsistema praxiológico productivo de ejecución estaría “formado por el subconjunto de componentes y agentes, conectados por acciones de éstos sobre aquellos cuyos resultados son la modificación de los componentes (de su estado, de su estructura, de su comportamiento, incluyendo por lo tanto las operaciones de ensamblaje, síntesis de nuevos objetos, uso de herramientas y de máquinas, etc). El conjunto de las operaciones de ejecución se puede considerar como el subsistema *laboral* o de trabajo manual de un sistema técnico.” (Quintanilla, 2005: 95). En cierto modo, estas acciones pueden relacionarse con el predominio del ‘saber hacer’, consustancial al conocimiento tecnológico primario (CT1ti)⁴¹⁶ y por tanto de la subcomunidad profesional ingenieril capacitada fundamentalmente en este tipo de conocimiento ingenieril (COP-CT1ti).

Por otra parte, el subsistema praxiológico productivo de gestión, podría formarse, a partir de Quintanilla (2005: 95) “por las acciones intencionales cuyo objetivo es organizar el sistema técnico en su conjunto. Incluye, por lo tanto, como agentes de las acciones de gestión a los sujetos intencionales que se plantean los objetivos globales del sistema y dan las instrucciones necesarias para que éstos [llamados agentes ‘responsables’ del sistema por el autor] y, como objetos de las acciones de gestión, a los agentes intencionales del subsistema de ejecución.” Razonando como en el caso anterior, entiendo que las acciones de gestión pueden relacionarse con el tipo de conocimiento tecnológico ingenieril secundario (FC-ING2ti)⁴¹⁷, que a su vez sería el característico de la subcomunidad profesional ingenieril con capacidades en conocimiento tecnológico secundario (COP-CT2ti).

No obstante, dado el nivel actual de elucidación, con la ingeniería como una actividad genérica y no específica, no parece necesario desarrollar más detalladamente, por el momento, esta división (ejecución/gestión) puesto que, como se verá en el caso específico de la elucidación de la ingeniería ambiental sanitaria, es entonces cuando –con el tratamiento de sistemas técnicos concretos, como puede ser el abastecimiento de aguas potables o la de depuración de aguas residuales– adquiere mayor sentido la división entre la ejecución y la gestión. Por este motivo, ahora se procede a exponer el sistema praxiológico productivo de la ingeniería incluyendo sólo genéricamente esa subdivisión de funciones como una subdivisión de la comunidad profesional ingenieril de producción.

Ahora bien, el modelo praxiológico productivo que se está presentando trata de incluir el conjunto más amplio de las actividades de producción ingenieril, ya se trate de bienes o de servicios. Para ello debe considerarse que la existencia de un determinado sistema productivo, como una fábrica de fertilizantes o una autopista, requiere previamente de la existencia de ese determinado complejo productivo. Esto nos lleva a la posibilidad de considerar dos subfunciones praxiológicas productivas complementarias. En primer lugar a la función praxiológica de diseño (proyecto ingenieril) de un determinado tipo de complejo productivo; y en segundo lugar a la función praxiológica de construcción –como realización material– de dicho complejo, incluyendo su operación productiva diseñada.

⁴¹⁶ Esta distinción parte de una propuesta de Quintanilla donde, ya en 1991, propuso distinguir el conocimiento técnico primario como “el que deben tener los operadores de un sistema técnico para ser capaces de hacerlo funcionar correctamente. Contiene una buena cantidad de conocimientos operacionales tácitos (saber hacer), aunque también forman parte de él otros tipos de conocimientos explícitos, tanto operacionales como representacionales.” (Quintanilla, 2005: 180).

⁴¹⁷ Siguiendo con la cita de la nota anterior, a partir de Quintanilla (2005: 180-181): “El conocimiento técnico secundario es el que tienen los ingenieros, diseñadores de sistemas técnicos o responsables de su control. En él abundan los conocimientos operacionales explícitos en forma de reglas tecnológicas, métodos de evaluación y control de operaciones, etc., pero lo más característico es que entre sus componentes figuran determinadas representaciones (de ahí su consideración como un conocimiento secundario o de segundo orden) de conocimientos técnicos primarios.”

Esto podría hacerse para distintos tipos de producción ingenieril, pero dado el marco de investigación, voy a desarrollarlo para el tipo general de la ingeniería civil. En esta disciplina puede diferenciarse con mucha nitidez entre las acciones destinadas a disponer de un determinado proyecto (de una infraestructura de ingeniería civil como una autopista, por ejemplo), de las acciones que tienen como finalidad la construcción física y puesta en servicio de dicha infraestructura de transporte. En el primer caso se estaría ante un subsistema praxiológico proyectual de producción, mientras que el segundo sería el subsistema praxiológico constructivo de producción.

En este punto cabe recordar que, como se ha puesto de manifiesto en la descripción del sistema óptico material de la ingeniería (*SONti*), que los productos constructivos (PRO-CON) pueden responder a distintos niveles de complejidad óptica, lo que supone un grado diferente de complejidad de los procesos ingenieriles. En este caso, voy a situar el grado de complejidad en una zona intermedia, entre el nivel 3 de artefactos constructivos (PRO³-CON) y el nivel 4, de sistemas artefactivos constructivos (PRO⁴-CON).

5.4.3.1 Subsistema praxiológico de producción (proyecto) (*SPRA-PPRti*)

De acuerdo con Quintanilla (2005: 123): “la mayor parte de la actividad de un ingeniero consiste en el diseño de proyectos. Diseñar un proyecto consiste en diseñar un sistema técnico concreto para resolver un problema práctico utilizando para ello una adecuada combinación de técnicas disponibles.” El diseño de proyectos productivos⁴¹⁸ ingenieriles es el caso más general del diseño tecnológico, aunque como se ha visto, también forman parte del diseño tecnológico los diseños de investigación y de innovación del sistema praxiológico de cambio. Así, podría decirse que se trata de sistemas praxiológicos intensivos en el uso del diseño tecnológico, y que este diseño se diferenciaría, según un grado decreciente de novedad: diseño de invención > diseño de innovación > diseño de proyecto.

Sin embargo, el hecho de que el diseño de proyecto tenga menos carga de novedad, no significa que sea más sencillo, ni tampoco que esté desprovisto de originalidad. Es más, el proyecto de un sistema técnico capaz de producir bienes o servicios, exige dar soluciones en un entorno real de incertidumbre y riesgo, con exigencias prácticas mayores que las de los diseños de investigación o de innovación. Por ejemplo, “en en ingeniería civil se tiende a investigar una solución específica para cada problema y cualquier proyecto tecnológico de envergadura, aunque sea de un tipo para el que se dispone de técnicas bien contrastadas, supone el inicio de un proceso de investigaciones y ensayos que permitan encontrar una solución original y completamente adaptada a la situación” (Quintanilla, 2005: 62).

En Kroes (2009: 113) se presenta una definición del proyecto productivo en el sentido que estoy planteando: “se puede considerar que un diseño [ingenieril] es un modelo [*blueprint*] para la producción: una descripción de todas las propiedades físicas (químicas) de un artefacto técnico que son relevantes para hacer una ficha [descripción detallada] del tipo de artefacto definido por el diseño. En este sentido, un diseño [proyecto] es una descripción completa de todas sus partes y relaciones.”⁴¹⁹

Con estas precisiones, voy a plantear el esquema general de un sistema praxiológico proyectual productivo, cuya finalidad es disponer de un proyecto ingenieril completo y detallado con el que proceder a transformar un territorio incorporando al mismo un

⁴¹⁸ El término proyecto se usa de manera muy amplia, incluso se aplica al caso de ‘proyectos de I+D+i’ en estándares como las normas técnicas UNE, y aún de forma más general. En este apartado, voy a entender por proyectos a los proyectos productivos ingenieriles, pero por economía descriptiva utilizaré también el término ‘proyectos’ o ‘proyectos ingenieriles’.

⁴¹⁹ Kroes, P. (2009): “Engineering Design”, pp. 112-117, en: Olsen *et al.* (eds.) *A Companion to the Philosophy of Technol.*

determinado sistema técnico, como por ejemplo una obra de infraestructura. Este sistema praxiológico, con las particularidades correspondientes, se acomoda al esquema que ya se ha presentado para los otros dos sistemas praxiológicos intensivos en diseño.

Los *inputs* conceptuales, como estado de cosas de partida, están orientados a la consecución final del proyecto (como solución a una necesidad-problema planteado) del sistema técnico que se trate. Para ello se parte del estado del arte, como elementos de los sistemas conceptuales epistémico (*SEPTi*), metodológico (*SMEti*), axiológico (*SAXti*) y ético (*SETti*) de la ingeniería, incorporados –al menos– a la comunidad profesional ingenieril productiva (*COPPt*). Asimismo, se incluye la conceptualización y representación del territorio objeto de la intervención. Los agentes de *COPPt* tratan con los elementos de estos sistemas conceptuales a través de los sistemas semióticos puente, que son los lenguajes (naturales, formales y gráficos) de la ingeniería.

El proyecto de un sistema técnico, como solución a una necesidad, está íntimamente relacionado con un territorio dado⁴²⁰, que se convierte así en el elemento fundamental de entre los *inputs* materiales del sistema praxiológico. En este estado de cosas de partida, se encuentran además los medios materiales (equipos y recursos) necesarios para dar apoyo a tanto a la propia materialidad del proyecto (como documento) como, especialmente, para las correspondientes investigaciones del terreno y elementos materiales de contenido propio del sistema técnico en proyecto.

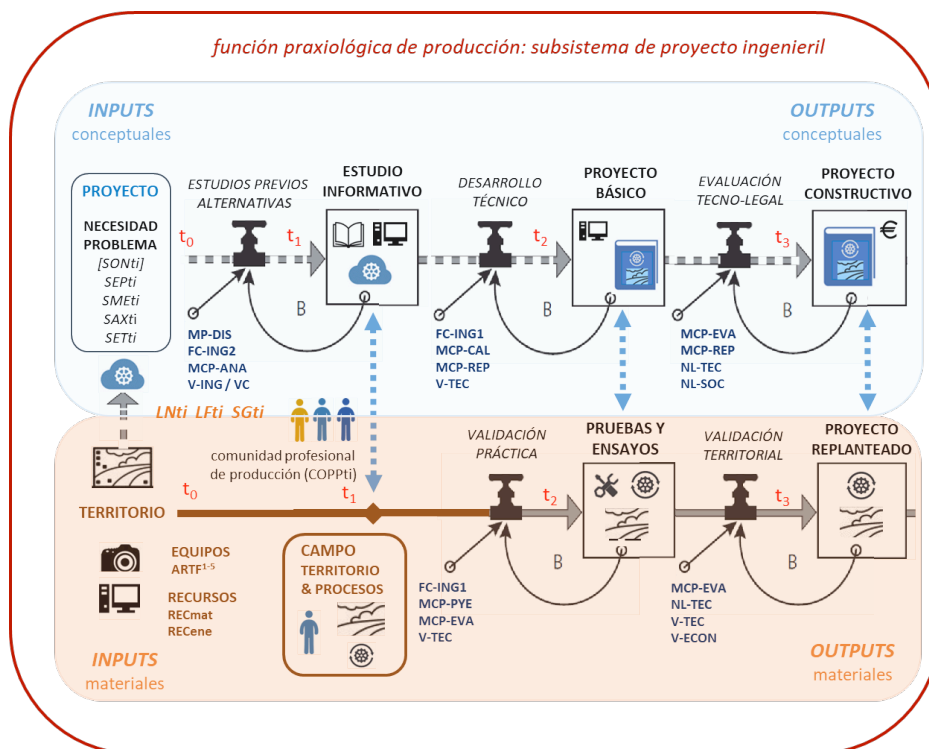


Fig. 5.4.3.a) Sistema praxiológico de producción ingenieril: subsistema proyectual

⁴²⁰ Para una infraestructura o edificación, más allá de especificar las características funcionales del sistema técnico que se diseña, puede buscarse que “además se adapte al paisaje concreto en el que se va a construir, o a las costumbres de la población que lo va a usar o a las tradiciones culturales arquitectónicas predominantes en el medio, etc., son especificaciones añadidas al proyecto, cuya implementación exigirá un mayor grado de originalidad.” Quintanilla (2005: 123-124).

A partir de estos *inputs*, la comunidad profesional ingenieril de producción (que en algún modo puede correlacionarse con el subsistema de gestión visto antes), con el predominio del tipo de conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2) inicia, mediante métodos de diseño ingenieril de producción, o métodos de diseño de proyectos, las acciones correspondientes a la fase de estudio de alternativas. En donde, de acuerdo a un complejo de especificaciones que responden a valores relevantes (valores tecnológicos ingenieriles, y valores contextuales del territorio), mediante métodos de análisis (MCP-ANA) se realizan los análisis de soluciones alternativas. De esto da cuenta Quintanilla (2005: 123) cuando sostiene que: “normalmente el ingeniero que se enfrenta a la tarea de diseñar un proyecto para realizar, por ejemplo, un puente con determinadas características, no dispone de una única estrategia directamente aplicable, sino más bien de un repertorio de soluciones técnicas y de posibles estrategias para combinarlas de forma adecuada al objetivo del proyecto.”

En paralelo con esta acción del nivel conceptual, en la capa más material se desarrollan actividades de ‘campo’, con la finalidad de obtener información precisa, fidedigna y actualizada del territorio (binomio territorio-población) y de sus procesos característicos. Una información descriptiva que se realimenta hasta alcanzar, a partir de un determinado momento (t_1), un estado de cosas que se plasma en un documento identificado como ‘estudio informativo’, en donde se presenta el abanico de soluciones posibles, así como una selección crítica de la solución alternativa preferible.

Partiendo de ese estadio, se procede a la siguiente conjunto de acciones (básicamente conceptuales) de desarrollo técnico de la solución elegida. Estas acciones suponen incorporar a la solución elegida elementos más propios del conocimiento ingenieril primario (FC-ING1), así como métodos de cálculo (MCP-CAL) sobre elementos técnicos e información económica monetaria, y métodos de representación (MCP-REP) empleados profusamente para la identificación del sistema técnico mediante mapas, planos, diagramas y otros recursos gráficos descriptivos.

En paralelo, se continúan los trabajos de campo (básicamente materiales) sobre las interacciones de la nueva infraestructura con el territorio y sus proyectos. Esto requiere la realización de pruebas y ensayos detallados (geotécnicos, hidrológicos, ambientales...) que proporcionan información relevante para las acciones de desarrollo del diseño del nuevo sistema técnico. Unas acciones que en un momento dado (t_2) permiten disponer de una representación completa del estado de cosas como ‘proyecto básico’.

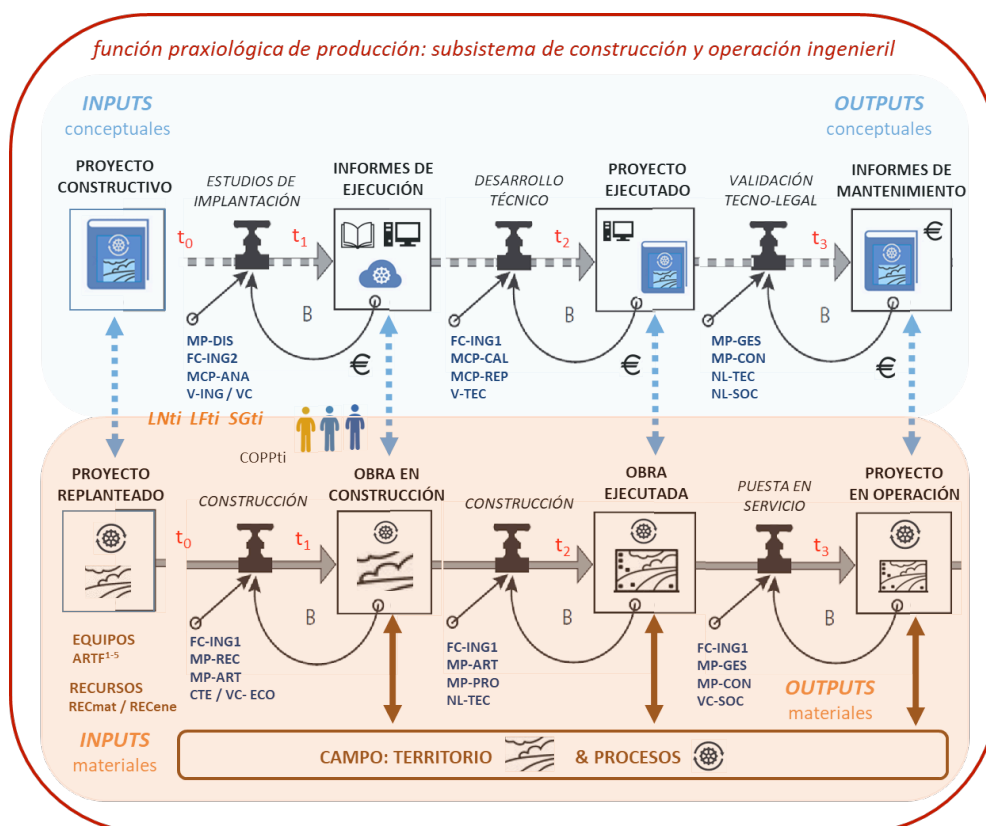
Finalmente, las acciones de evaluación técnico-legal del proyecto básico permiten, mediante métodos de evaluación y representación, así como de aplicación exhaustiva de las normas legales técnicas y del supersistema social, definir con detalle suficiente el conjunto de operaciones necesarias para la realización material del sistema técnico en un determinado territorio. Esto posibilita que en un momento t_3 se disponga de un ‘proyecto constructivo’ como estado de cosas, que consiste en un conjunto de determinaciones técnicas (memoria y anexos), referidas espacialmente (planos) y económicamente determinadas (presupuestos), que se consideran suficientes para la ejecución material del proyecto.

En el plano más material, la concreción de este proyecto constructivo aprobado se realiza mediante el replanteo del mismo, que consiste en reproducir en el territorio todo el ámbito de ocupación material del proyecto del nuevo sistema técnico. El estado de cosas que se representa en el ‘proyecto replanteado’ puede considerarse tanto como *output* material del sistema praxiológico proyectual productivo, como uno de los principales *input* material del sistema praxiológico de producción constructivo.

5.4.3.2 Subsistema praxiológico de producción (construcción y operación)

Puede observarse cómo los *outputs* del subsistema (subfunción) praxiológico productivo de proyecto (*SPRA-PPRti*) van a convertirse en los *inputs* característicos y relevantes del subsistema (subfunción) praxiológico productivo de construcción y operación (*SPRA-PCOti*). A partir de esto, para elaborar la representación del *SPRA-PCOti* voy a seguir la secuencia tipo de elementos: i) *inputs* (conceptuales y materiales); ii) acciones de procesos de incorporación; iii) estado de cosas (inicial hasta final); iv) acciones de procesos transformadores (ejecución y gestión); v) *outputs* (estado de cosas final, como producto resultante). Considero, como antes, dos capas diferenciadas: la conceptual, en donde las acciones y los estados de cosas se refieren básicamente a conceptos; y la concreta o material, en donde las acciones y los estados de cosas se refieren generalmente a objetos materiales.

Entonces, a partir del estado de cosas inicial, del proyecto constructivo –en relación con el proyecto replanteado sobre el territorio– la comunidad profesional ingenieril de producción (COPPt_i), impulsada por el complejo institucional de producción (CIN-Pt_i) y el complejo institucional de gestión (CIN-Gt_i), desarrolla las acciones correspondientes para la materialización del proyecto diseñado. En la capa más conceptual, se realizan los estudios de implantación del proyecto constructivo, empleando métodos de diseño de producción (MP-DIS), con un uso predominante del fondo de conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2), atendiendo al uso de métodos de cálculo sobre los elementos proyectados, y teniendo en cuenta especialmente valores ingenieriles y valores contextuales como los económicos. Por esto la información pragmática de naturaleza económica monetaria adquiere una destacada notoriedad en todo este subsistema praxiológico productivo de construcción y operación, de ahí que en el gráfico aparezcan representaciones simbólicas de dinero.



En paralelo, la comunidad profesional ingenieril de producción (a través de las subcomunidades especializadas en la construcción), inicia los procesos materiales de transformación del territorio. Para esta subfunción productiva (construcción y operación) puede bien afirmarse que la capa material es la más relevante en todos los sentidos. Así, además del proyecto replanteado sobre el territorio, que considero uno de los inputs materiales, se encuentran también los artefactos de transformación, y las materias primas (materiales y energéticas). Pero además, siguiendo el ejemplo-caso de la ingeniería civil, hay que destacar que la transformación pretendida se realiza en el ‘campo’ sobre un territorio y procesos preexistentes. De ahí que en la capa material, por debajo de la línea de acciones/estado de cosas, represente el territorio y sus procesos.

Las acciones de transformación material se realizan mediante métodos productivos orientados a los recursos (MP-REC), tanto de los recursos energéticos como de los recursos materiales. Unos métodos que se combinan con los métodos productivos orientados a los artefactos (MP-ART), en este caso a la construcción de infraestructuras. Tanto los MP-REC como los MP-ART, donde es relevante el conocimiento ingenieril primario (FC-ING1), están relacionados conceptualmente con las disposiciones del proyecto constructivo, y con la cultura ingenieril incorporada por la comunidad profesional ingenieril de producción.

A partir de un momento (t_1) el estado de cosas es una determinada ejecución parcial de la obra que denomino ‘obra en construcción’, como podrían ser también los distintos estados de ejecución parcial que se consideran hitos relevantes en la construcción de una infraestructura lineal⁴²¹. Este estado de cosas, respecto al proyecto, está relacionado con la transformación física del territorio y la interacción con los procesos preexistentes. En cuanto a la capa predominantemente conceptual, estos estados se reflejarían en lo que denomino genéricamente como ‘informes de ejecución’, en donde como mínimo se da cuenta del grado de cumplimiento (y en su caso desviaciones) respecto al proyecto en sus aspectos técnicos, temporales (respecto al cronograma de previsiones) y económicos.

Desde este estadio intermedio de construcción, continúan las acciones, bien las predominantemente conceptuales, que requieren acciones de desarrollo técnico, como pueden ser de diseño específico o complementario, con métodos de cálculo (MCP-CAL) y métodos de representación (MCP-REP), con la predominancia de los valores y complejos de valores tecnológicos e ingenieriles. En correspondencia, continúan las acciones, predominantemente materiales, de transformación del territorio mediante la construcción, empleando no sólo métodos productivos orientados a los artefactos (MP-ART), sino ya –más avanzada la construcción– métodos productivos orientados al producto (o servicio, en el caso que se sigue de una infraestructura de ingeniería civil).

Esto lleva en un momento determinado (t_2) a disponer de una construcción como resultado de la ‘obra ejecutada’, que consistiría en el estado de cosas objetivo de todo el proceso productivo, desde la concepción original hasta el diseño final, a través de todas las interacciones de transformación y con el medio de actuación (territorio y procesos). Esa obra ejecutada se puede representar mediante el ‘proyecto ejecutado’ como documentación informativa que describe el estado de cosas de la obra coincidente con la realidad.

A partir de este momento, la obra ejecutada se pone en servicio, de modo que se dan todos los pasos tanto en lo material como en el dominio conceptual, para su efectiva puesta en servicio. En este último caso, se requiere la validación técnico-legal, de modo que las

⁴²¹ Estas fases de construcción podrían ser: 1) explanaciones y movimientos de tierra; 2) estructuras, obras de fábrica y drenajes; 3) afirmados; y 4) obras y trabajos auxiliares.

especificaciones y condiciones sean conforme a lo previsto, mediante acuerdo a criterios y métodos de gestión (MP-GES) y de control (MP-CON).

Estas acciones llevan, en un momento dado (t_3) a un estado de cosas, como *output* de la función praxiológica, que es el ‘proyecto en operación’, por el que se materializa, mediante modificación o incorporación de nuevos componentes, la transformación del sistema tecnológico objetivo, incrementando la capacidad de ofrecer nuevos servicios a la comunidad de usuarios (COUti). En la parte más conceptual, se produce el despliegue de conocimiento ingenieriles tanto para el control de funcionamiento (adecuación a lo previsto) como para el mantenimiento del sistema tecnológico, hasta el final de la vida útil del artefacto constructivo.

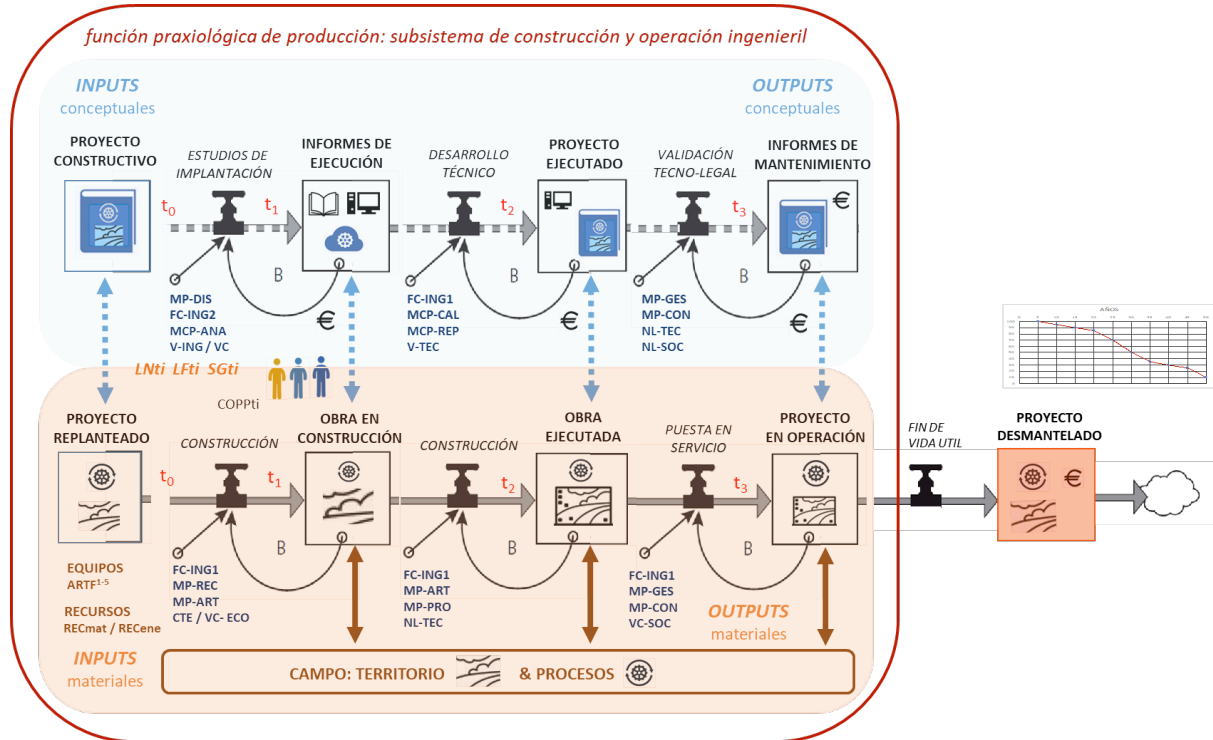


Fig. 5.4.3.c) Sistema praxiológico de producción (construcción y operación), hasta fin de uso

5.4.4 Control: sistema praxiológico de gestión y control (*SPRA-Gti*)

Este sistema, como sistema funcional del sistema complejo ingenieril, pretende dar cuenta de las funciones genéricas de gestión del conjunto del propio supersistema de la tecnología ingenieril. En este sentido, puede concebirse a partir de la noción de subsistema de gestión de Quintanilla (2005: 95) que se ha aplicado al sistema praxiológico productivo del apartado anterior. Sólo que en este caso, en vez de considerar que los objetivos del subsistema se limitan al sistema productivo, voy a considerarlos ampliados a objetivos de gestión y control del supersistema ingenieril.

En esto, el sistema funcional praxiológico de gestión y control ingenieril (*SPRA-Gti*) se aparta de los anteriores sistemas praxiológicos (docente o académico, de investigación o cambio ingenieril y de producción), que están limitados a procesos más específicos. El sistema praxiológico de gestión tiene que dar cuenta de procesos que superan el ámbito de los otros procesos praxiológicos, y del control en un sentido amplio (*cfr.* Broncano, 2005).

Por tal motivo, la representación del sistema praxiológico de gestión y control, se parece más a la representación esquemática general de los sistemas praxiológicos. Un ejemplo claro

de los procesos del sistema praxiológico de gestión y control puede ser la incorporación de una determinada nueva actividad (una fábrica, por ejemplo) al sistema productivo sectorial. Esto viene a ser el paso desde un complejo institucional productivo de nivel 1 (CIN¹-P) para incorporarlo y mantenerlo en un sistema institucional de producción (CIN³-P) y, por ende, en un sistema institucional de gestión (CIN³-Gti).

El punto de partida son los *inputs* conceptuales, fundamentalmente el documento ‘proyecto de industria’, generado de acuerdo a la subfunción praxiológica de elaboración documental de proyectos, en relación con el complejo institucional de primer nivel, como es el caso de una ‘industria productiva’ (CIN¹-P). Los agentes que están involucrados en estos desarrollos están formados típicamente por la comunidad profesional ingenieril de producción (COP-Pti), aunque también se encuentran otros agentes como pueden ser de gestión económica y financiera. A partir de un determinado momento (t_0), los agentes directivos se relacionan con componentes del nivel 3 del subsistema óptico institucional (CIN³-Pti), para situar al complejo productivo dentro del complejo institucional de producción y de gestión. Esto se hace para pasar a un nuevo estado de cosas, en donde la industria construida dispone de las condiciones de autorización para operar (y por tanto incorporarse) al sistema productivo sectorial.

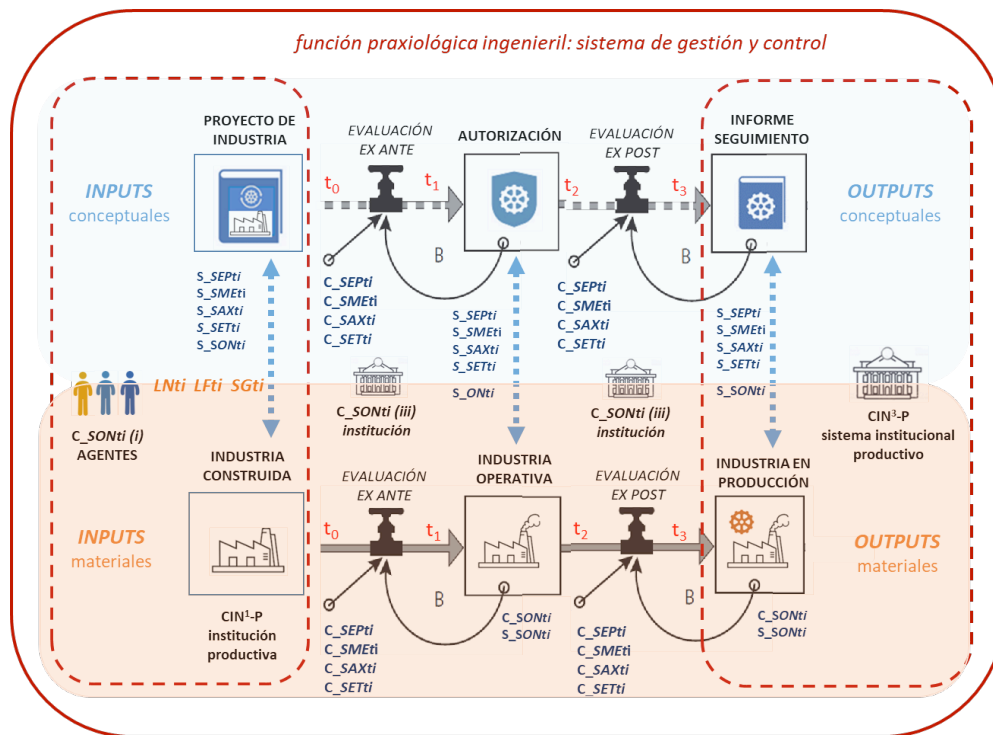


Fig. 5.4.4.a) Sistema funcional praxiológico de gestión y control ingenieril (SPRA-Gti)

A partir de entonces, el complejo institucional de nivel 3, a través del sistema institucional de gestión correspondiente, como administración sectorial competente (un ministerio de industria, por ejemplo), inicia la tramitación de autorización, que se caracteriza genéricamente por procesos de evaluación *ex ante* (previos al funcionamiento) tanto en el ámbito conceptual (a través de las comprobaciones en soporte documental), como de la industria construida, en cuanto a su configuración, instalaciones y dispositivos. En ambos casos se articulan diversos componentes de los tres sistemas conceptuales ingenieriles, que responden a la naturaleza esencialmente evaluativa (*ex ante*).

A partir de un momento (t_1) determinado, el estado de cosas conjugado sería, siguiendo el ejemplo, el de una 'industria operativa autorizada'. Por tanto, de un complejo institucional productivo que se incorpora a un nivel óptico superior, el del sistema institucional productivo, en donde comparte espacio institucional (y operativo) con el resto de los complejos productivos existentes. A partir de entonces, la industria incorporada inicia su vida productiva. Una vida productiva que está condicionada, por el hecho de su incorporación a ese determinado sistema institucional productivo ingenieril (CIN³-Pti), al cumplimiento de un conjunto de obligaciones de diferentes aspectos, no solamente del propio sistema tecnológico, sino también de otros sistemas de entorno, señaladamente el supersistema social, que son de tipo legal, ambiental, de seguridad y salud, o laborales, por citar sólo algunos de los marcos de desarrollo de la actividad productiva.

Esta vida útil del complejo industrial es objeto de evaluación *ex post*, para verificar a lo largo del tiempo la adecuación de los procesos y productos a las condiciones de autorización. Esto se produce en determinados momentos (t_2) en donde el agente complejo institucional del sistema de gestión (CIN³-Gti) está procediendo a la evaluación para evacuar los 'informes de seguimiento' respecto a la industria en producción, como estado de cosas en un determinado corte temporal (t_3). Este es el punto final, objetivo, que se considera para esta función praxiológica de gestión.

5.5 SISTEMAS Y TIEMPO: HISTORIA E HISTORICIDAD EN EL SISTEMA INGENIERIL

La ingeniería es una actividad humana con un largo historial de servicios, como puede verse, entre otros, en: Gregory (1971) *History and Development of Engineering*⁴²²; Singer (1984) *A History of Technology*⁴²³; Kirby *et al.* (1990) *Engineering in History*⁴²⁴; Garrison (1999) *History of Engineering and Technology*⁴²⁵; o McNeil (2002) *An Encyclopaedia of the History of Technology*⁴²⁶.

Sin embargo, para los desarrollos teóricos realizados hasta el momento en esta elucidación filosófica sistemista de la ingeniería, prácticamente no se ha dado cuenta de sus aspectos históricos, sino que se ha realizado un análisis prácticamente atemporal de los sistemas ingenieriles. El hecho de que los sistemas tienen historia y de la importancia –y dificultad– de reconocimiento del histórico de los sistemas ha sido destacado por autores como Bunge [1979](2012). Ya se ha expuesto el interés por considerar la dimensión histórica en la filosofía sistémica de la ingeniería.

En este apartado realizo el estudio filosófico sistemista de la variable temporal en la ingeniería mediante dos vertientes: la de su historia, y la de su historicidad. La primera tiene que ver con la historia (temporalidad) de los componentes de los sistemas, de los sistemas, y del total del sistema complejo de la ingeniería. Esto lleva a situar los elementos cronológicamente, en un momento determinado o en un periodo histórico definido. Esto tiene una utilidad filosófica relativamente limitada, sobre todo para el nivel de componentes, aunque puede ser algo mayor para el nivel de sistemas, y encuentra su máximo sentido en el nivel del sistema complejo ingenieril, que coincidiría con la historia de la ingeniería. La descripción histórica puede ser una ayuda para la comprensión de la actividad ingenieril, y de utilidad para su descripción detallada.

Por otra parte, planteo el análisis de la historicidad (cambio *con* el tiempo) tanto de cada uno de los sistemas (óntico, semióticos, epistemológico, metodológico, axiológico, ético y praxiológicos) como del conjunto del sistema complejo de la ingeniería. Una parte importante de este análisis va a tener que ver con la complejidad intrasistémica de los sistemas, así como con los fenómenos de cambio y de emergencia sistémica. Para este análisis se hacen relevantes tipos de cambio estructural como los señalados por Bunge [1979](2012: 308), que ponen de manifiesto la dinámica de los sistemas complejos.

Como puede observarse, al terminar de elaborar este modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería con la dimensión temporal, estoy en cierto modo revisando la estructura del modelo que se ha ido formulando. En este apartado voy a comentar aspectos sobre la historia e historicidad, primero de los distintos sistemas componentes del supersistema ingenieril, y después del conjunto del sistema complejo. Esto responde a una decisión metodológica: los elementos históricos de los sistemas podrían analizarse a la hora de tratar cada uno de ellos (como se ha hecho con la composición, entorno y estructura, o incluso con los mecanismos), o hacerlo de forma conjunta, al final. He optado por esta opción, aunque probablemente, a la hora de aplicar a un caso concreto de elucidación de una ingeniería determinada, pueda ser conveniente proceder –desde el principio– a tener presente los aspectos históricos de los sistemas en estudio.

⁴²² Gregory, Malcom S. (1971): *History and Development of Engineering*, London, Logman.

⁴²³ Singer, Charles Joseph (1984): *A History of Technology*, Oxford: Clarendon Press.

⁴²⁴ Kirby, R.S.; Withington, S.; Darling, A.B. & Kilgour, F.G. (1990): *Engineering in History*, New York, Dover.

⁴²⁵ Garrison, Ervan (1999): *History of Engineering and Technology. Artful Methods*, New York, Routledge.

⁴²⁶ McNeil, Ian (ed.) (2002): *An Encyclopaedia of the History of Technology*, New York, Routledge.

En todo caso, esta revisión de la historia e historicidad de los sistemas, me permite completar la visión del sistema complejo de la ingeniería como un modelo que representa algo que tiene historia y que está al mismo tiempo vivo, en permanente cambio. Hasta tal punto que es precisamente al final de esta revisión de la historia e historicidad de los sistemas cuando acompaño la representación integrada más completa que –hasta el momento– puedo ofrecer del modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería.

5.5.1 Historia e historicidad de los sistemas del sistema complejo ingenieril (*S²ING*)

Se han identificado sistemas de cuatro tipos diferentes (material, material-conceptual, conceptual y funcional) que en conjunto componen la actividad ingenieril. Los tres primeros, aunque se distinguen por la naturaleza de sus componentes, responderían al modelo de ‘sistema de campo’, mientras que el último tipo responde al modelo de ‘sistema funcional’. Lo que ahora se va a tener en cuenta, para cualquier y para todos los sistemas que componen la ingeniería, es la variable tiempo. Entendida como un tiempo histórico, considerando unas cantidades e intervalos de tiempo suficientes y adecuados para este tipo de análisis en cada sistema, y en sus componentes, entorno, y estructura. Atendiendo a las características generales de la ingeniería, como se está contemplando, creo que el marco temporal histórico de referencia podría limitarse a los siglos XIX y XX.

5.5.1.1 Historia e historicidad del sistema óptico material de la ingeniería (*SONti*)

El sistema óptico material de la ingeniería (*SONti*) reúne cuatro grupos de elementos: de la agencia humana individual y comunidades, de los artefactos y sistemas artefactivos, del complejo institucional, y del toposistema ingenieril. El ámbito de la agencia humana individual, que se ocupa del individuo como agente intencional, tienen poco recorrido en el intervalo temporal propuesto, puesto que los cambios identificados se enmarcan en procesos evolutivos o macrohistóricos, de intervalos temporales mucho más amplios. La participación individualizada del agente intencional está enraizada con supuestos básicos, de naturaleza biopsíquica y ecológica, por lo que este subsistema puede considerarse invariable respecto al factor temporal para el intervalo de referencia. Sin embargo, como se va a ver en el apartado del complejo institucional, sí tiene un importante recorrido histórico la noción de comunidad profesional ingenieril.

El subsistema óptico de artefactos y sistemas artefactivos incluye el conjunto de elementos materiales artificiales que conforman el mundo material ingenieril. Esto hace que sean los componentes más ubicuos y persistentes. Tanto que pueden encontrarse artefactos y sistemas artefactivos ensamblados desde antes del siglo XIX que siguen respondiendo funcionalmente en la actualidad. El artefacto tiene databilidad (puede ser asociado a un determinado tiempo cronológico) y tiene historia en sí mismo, fruto de la actividad. Puede hablarse de un amplio registro histórico de muy distintos tipos de artefactos (y sistemas artefactivos) que forman parte de colecciones públicas y privadas, así como específicamente de patrimonio ingenieril material (construcciones, artefactos, industrias...). En este sentido, los componentes del subsistema óptico de artefactos tienen una componente temporal, histórica, muy relevante. Prácticamente para cada disciplina ingenieril pueden encontrarse investigaciones, estudios, e instituciones dedicadas a la investigación, recuperación y puesta en valor del patrimonio material (artefactual) correspondiente.

Además de la cronología de los artefactos, en los componentes de este subsistema ontológico artefactivo se pone de manifiesto su historicidad. En el modelo que se ha propuesto, de acuerdo a la lógica ingenieril recurso-artefacto-producto (R-A-P), se han descrito hasta cinco niveles ópticos diferentes. Desde el primer nivel (R-A-P)¹ hay una

relación de precedencia con el anterior (R-A-P)⁰ y de sucesión con el siguiente (R-A-P)², hasta el nivel de máxima complejidad óptica (R-A-P)⁵. Ese orden de precedencia y sucesión también se da en la terna recurso-artefacto-producto. En este caso, como se ha expuesto, el salto de complejidad que se produce entre el nivel óptico 1 (de artefactos físicos simples) al nivel óptico 2 (de artefactos complejos, con base en conocimientos científicos) se enmarca en el fenómeno histórico de la revolución industrial. Desde ahí, se producen una serie de cambios cualitativos en los recursos, artefactos y productos que pueden interpretarse como fenómenos de emergencia sistémica (aparición de novedades cualitativas) y por tanto de complejidad. En su conjunto, se define un esquema de complejidad óptica creciente que refleja claramente la historicidad del subsistema óptico artefáctico. De esto podría derivarse la afirmación más general –como se irá viendo más adelante– de que la complejidad intrasistémica, en este caso de niveles ópticos, pone de manifiesto la historicidad del sistema.

En cuanto al subsistema óptico del complejo institucional (como sujeto colectivo de la acción intencional), puede señalarse que es precisamente a partir del siglo XIX cuando se va configurando este modelo de acción intencional colectiva, como comunidad profesional tecnológica o ingenieril (*cfr.* Layton, 1971)⁴²⁷. Ya se ha dicho que el complejo institucional suma, además de la comunidad profesional de agentes humanos reorganizados en formas socialmente complejas, a un conjunto correspondiente de elementos materiales del subsistema artefáctico. En la propuesta que se ha presentado de subsistema del complejo institucional ingenieril (*SON-CINti*) se observan hasta cuatro niveles ópticos, de complejidad institucional creciente. En la representación se ha incluido un nivel de complejidad 0 (CIN⁰) en donde sitúo los colegios y asociaciones profesionales, como un nivel puente entre el subsistema de agencia humana individual y el subsistema del complejo institucional.

A partir del nivel primero (CIN¹) del complejo institucional o de sujeto colectivo, se presenta una secuencia de niveles de complejidad institucional crecientes, hasta el máximo nivel (CIN⁴). Cada nivel institucional se compone de un núcleo (comunidad profesional ingenieril, genérica o especializada), junto con otras comunidades o agentes colectivos humanos, y una serie de artefactos o sistemas artefácticos. Además de esta combinación, entre los cuatro niveles ópticos del complejo se dan relaciones de precedencia y sucesión: i) institución; ii) red institucional; iii) sistema institucional; y iv) redes de sistemas institucionales.

Se consideran estos distintos niveles, que reflejan la historicidad del subsistema, en tanto cada uno de ellos tiene propiedades emergentes respecto a los precedentes, definiendo una serie de complejidad creciente que se ha ido conformando a lo largo del siglo XIX y XX. Puede observarse, por comparación con el subsistema artefáctico, que el nivel más alto del complejo institucional va quedando –en mi opinión– desfasado respecto a un más rápido crecimiento de la complejidad en el sistema artefáctico. Esto vendría a reproducir, dicho de una forma común, que la arquitectura institucional de la tecnología va por detrás de los artefactos tecnológicos.

El último conjunto del sistema óptico material está formado por los diferentes elementos del que he denominado toposistema, y que reúne todos aquellos, fundamentalmente del supersistema social y del supersistema ecológico, que son relevantes para ‘situar’ una determinada ingeniería. Son elementos indispensables para completar el conjunto de componentes materiales del sistema óptico de una ingeniería. En el desarrollo de este subsistema óptico ya he mencionado elementos relevantes como la población o el territorio.

⁴²⁷ Véase Layton, E.T. (1971): *The Revolt of the Engineers: Social Responsibility and the American Engineering Profession*.

También he representado un modelo general del supersistema ecológico, puesto que distintos niveles de éste configuran el territorio. Pero, como se verá en el caso concreto de la ingeniería ambiental sanitaria, puede hablarse como ejemplo –en toda la extensión del término– de la ciudad como toposistema. Este subsistema, que está fuertemente acoplado con el subsistema artefáctico, también va a aceptar distintos niveles de complejidad óntica, resultado de procesos de cambio cualitativo, que se muestran con claridad en este corte temporal (s. XIX y XX) que estoy utilizando como referencia.

En síntesis, para el sistema óntico material ingenieril (*SONti*), a partir del análisis somero de lo histórico en sus cuatro subsistemas, puede afirmarse que, desde el siglo XIX, y con un ritmo que se va acelerando progresivamente, se observa no sólo una evidente historia del sistema (que sólo para el subsistema artefáctico ha sido objeto de estudios detallados), sino una clara historicidad del sistema óntico material, al menos de los subsistemas artefáctico, del complejo institucional y del toposistema. Estos tres subsistemas, estrechamente acoplados, muestran pautas coevolutivas que se ponen de manifiesto en la interrelación de sus niveles ónticos, de complejidad creciente, a partir del siglo XIX y hasta la actualidad.

5.5.1.2 Historia e historicidad de sistemas semióticos ingenieriles (*SLGti*)

El siguiente conjunto de sistemas del supersistema ingenieril son los lenguajes (natural y formal) y los sistemas gráficos, en tanto sistemas semióticos, y por tanto sistemas puente material-conceptual, empleados típicamente por la comunidad profesional ingenieril (*COPTi*). He identificado tres grandes tipos de sistemas semióticos: lenguajes naturales (*SLNti*), lenguajes formales (*SLFti*) y sistemas gráficos (*SGti*). Para cada uno de los dos tipos de lenguajes he sugerido una serie de niveles léxicos de complejidad creciente, pero –al menos de forma general para los lenguajes naturales– estos niveles de máxima complejidad ya se han alcanzado antes del siglo XIX. Para los lenguajes formales matemáticos podrían analizarse los períodos de tiempo en que se incorporan diversas formas más complejas, así como –muy especialmente– para los lenguajes formales informáticos, cuyo desarrollo se producen en las últimas décadas del siglo XX hasta la actualidad. En cuanto a los sistemas gráficos, también su configuración más compleja ya se puede dar por hecha incluso antes del siglo XX, aunque podrían trazarse ciertas rutas de complejidad creciente en algunas representaciones de las últimas décadas.

Conviene recordar que el ‘lenguaje’ ingenieril, sería en realidad una combinación (uso conjunto) de los diversos tipos de lenguajes: natural, natural-científico, natural-tecnológico, formal lógico, formal matemático, formal informático; junto con los sistemas gráfico icónico y gráfico simbólico. Los análisis históricos y las referencias a la historicidad del sistema semiótico deberían tener presente que el uso conjunto de los lenguajes y sistemas gráficos puede ser el que de cuenta tanto de los procesos de coevolución –en su caso– como los de incremento de complejidad; esto especialmente en relación con la progresión de los artefactos físicos como dispositivos de registro, comunicación y reproducción de los elementos de los sistemas semióticos lingüísticos y gráficos. Quiero añadir que, en mi opinión, al complejo semiótico que forma los lenguajes y sistemas gráficos ingenieriles le ocurriría algo parecido a lo que le ocurre al complejo institucional respecto a los artefactos, que van quedando ‘desbordados’ (retrasados, en cierta medida) en su capacidad de representación.

5.5.1.3 Historia e historicidad del sistema conceptual epistémico ingenieril (*SEPTi*)

De entre los sistemas conceptuales, el sistema epistémico de la ingeniería sería el más sensible a la variable tiempo, tanto en su correlato histórico, cuanto en la historicidad de los elementos que forman este sistema conceptual. Antes de nada quiero insistir en que este

sistema es de naturaleza conceptual, y que todos sus componentes son también conceptuales. Aunque, como tal, están intermediados con lo material a través de sistemas semióticos de lenguaje y gráficos, tanto con los agentes humanos como con los artefactos y dispositivos de almacenamiento y comunicación de la información. Entonces, aunque el sistema epistémico sea conceptual, no deja de existir una influencia relevante –además de la correspondiente a los sistemas semióticos– de los artefactos y sistemas artefactivos puestos a disposición tanto de los procesos de conocimiento del mundo material (conocimientos científicos y tecnológicos), como de los dispositivos (artefactos disponibles) de almacenamiento, transmisión y recuperación de la información⁴²⁸. Esto se tendrá en cuenta a la hora de analizar de forma conjunta el sistema complejo de la ingeniería. Mientras tanto, simplificando, voy a considerar las relaciones históricas de los conjuntos de cuerpos de conocimiento, y de los constructos conceptuales (con diferentes niveles de complejidad) que los integran.

Recuerdo que los grupos de componentes del sistema epistémico ingenieril (*SEPTi*) son: trasfondo formal lógico-matemático (TF-LMti); trasfondo de conocimiento específico científico (TCE-CIEti); trasfondo de conocimiento específico tecnológico (TCE-TECti); trasfondo de conocimiento específico ingenieril (TCE-INGti); y fondo de conocimiento ingenieril (FC-INGti). La formación del conocimiento tecnológico ingenieril se contempla a partir de la incorporación de elementos epistémicos científico en las prácticas técnicas, lo que nos sitúa a partir de la banda de finales del siglo XVIII y principios del XIX para el surgimiento de la ingeniería moderna. A partir de entonces van situándose las especialidades ingenieriles más antiguas, como la ingeniería mecánica o la ingeniería civil, que reciben conocimientos (constructos conceptuales) directamente de un trasfondo de conocimiento científico (TCE-CIE) a un trasfondo específico tecnológico (TCE-TEC) que prácticamente coincide con el fondo de conocimiento ingenieril (FC-ING), lo que puede considerarse el corpus epistemológico⁴²⁹ de esa reciente (entonces) especialidad ingenieril, que se manifiesta en primera instancia en una determinada comunidad profesional ingenieril. Esto sería un modelo muy sencillo de flujo como trasvase de información (descriptiva y práctica) desde el espacio científico y de la práctica tecnológica hasta una determinada especialidad ingenieril.

Según se avanza cronológicamente, el modelo se va haciendo más complicado. En primer lugar porque el trasfondo científico pasa de ser más general a ser más específico, lo que hace que los constructos conceptuales científicos que pasan al trasfondo tecnológico –o directamente al fondo de conocimiento ingenieril– sean más especializados y más complejos. Aparecen también realimentaciones desde el trasfondo y fondo de conocimiento ingenieril hacia el trasfondo de conocimiento científico. Todo esto requiere, adicionalmente, una mayor contribución de aportaciones del trasfondo formal lógico-matemático. Además, se incrementa el flujo en cantidad y en el nivel de complejidad de los constructos conceptuales (conceptos < proposiciones < contextos abiertos < contextos cerrados o teorías).

Así como una vez que se alcanza una determinada masa crítica de conocimiento (constructos conceptuales), los conocimientos científicos divergen en especialidades, también los trasfondos y fondos de conocimiento ingenieril divergen en especialidades. Solamente que en el dominio tecnológico ingenieril la formación de especialidades responde, no tanto a la disponibilidad de conocimientos, sino a las necesidades –como áreas de actividad– de

⁴²⁸ Como ya se ha señalado en su momento, relativa sobre todo a un tipo de información pragmática descriptiva y representativa, que sería la que forma esencialmente el núcleo del sistema epistémico.

⁴²⁹ Prácticamente hasta finales del siglo XX, el corpus epistemológico de una disciplina ingenieril determinada puede identificarse cronológicamente, a partir de los manuales y libros de texto académicos que se utilizan en las distintas escuelas de ingeniería en ese determinado momento. Por ejemplo, para el período inicial (s. XIX) de la ingeniería civil en Europa y Norteamérica, podría serlo un libro como *Elementary Course of Civil Engineering* (1837) de Dennis Hart Mahan.

transformación de la realidad. El fenómeno de creación de la disciplina ingenieril tiene aparejada más complejidad conceptual, y más especificidad en cuanto a la actividad transformadora. Lógicamente, estos cambios no dependen exclusivamente de novedades cuantitativas o cualitativas conceptuales sino también –muy especialmente– de novedades materiales, formales o de proceso del subsistema óntico artefáctico disponible en un tiempo determinado. Podría decirse que el incremento global de la complejidad (cuantitativa y cualitativa) de un sistema epistémico ingenieril puede llevar en un momento determinado, mediante divergencia, a la especialización (especificación) en una nueva disciplina ingenieril. En mi opinión, esta historicidad del sistema epistémico ingenieril está clara, por ejemplo, en una serie de especialización ingenieril que se produce durante el siglo XX: ingeniería mecánica < ingeniería eléctrica < ingeniería electrónica < ingeniería informática.

El modelo que he planteado para representar el sistema epistémico de una ingeniería (*SEPtí*), debida a la fundamental historicidad de este sistema, supone que una determinada disciplina ingenieril ya tiene una elevada complejidad (cuantitativa y cualitativa) conceptual. De ahí que para el análisis de una disciplina ingenieril de principios del siglo XXI plantee una secuencia de trasfondos específicos: trasfondo científico < trasfondo tecnológico < trasfondo tecnológico ingenieril < fondo ingenieril. Es más, la complejidad del sistema epistémico –y en tal medida, su historicidad– también se reflejan en el hecho de que considere, ya desde el trasfondo de conocimiento específico tecnológico, dos series diferentes de niveles de constructos conceptuales que dan cuenta, respectivamente, del conocimiento ingenieril primario (FC-ING1*ti*) y del conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2*ti*).

Puede observarse así que el sistema epistémico ingenieril facilita un alto grado de detalle y resolución de cronología histórica (esencialmente a partir de documentos referenciales) y por tanto de la historia del sistema; y también que la historicidad puede considerarse como una característica esencial, tanto para los componentes como para la estructura y dinámica del sistema epistémico ingenieril.

5.5.1.4 Historia e historicidad de sistema conceptual metodológico ingenieril (*SMEtí*)

El sistema conceptual metodológico ingenieril (*SMEtí*) tiene un elevado grado de acoplamiento con el sistema epistémico (*SEPtí*). Sin embargo, no tiene una historia tan detallada y compleja como el anterior, ni está caracterizado por una equivalente historicidad. Esto puede ser porque los flujos de información que la comunidad profesional ingenieril moviliza mediante los componentes del sistema metodológico son flujos informativos pragmáticos prácticos, que tratan de segmentos de acciones, por lo que resultarían menos complejos cuantitativa y cualitativamente.

Entonces, parecería que la naturaleza del sistema metodológico y de su tipo de flujo informativo favorece no la complejidad creciente, sino casi lo contrario, una cierta simplificación operativa. En este sistema he considerado al nivel de método como ‘componente atómico’, y lo que he hecho es identificar grupos de métodos, que eventualmente pueden formar series de métodos.

Así, a reserva de los resultados del análisis de la historia e historicidad para una determinada disciplina ingenieril, el sistema metodológico podría entenderse como un sistema de baja variabilidad histórica, para el período de referencia (s. XIX-XX), así como un sistema de escasa historicidad.

5.5.1.5 Historia e historicidad del sistema conceptual axiológico (*SAXtí*)

Como se ha visto, el sistema conceptual axiológico ingenieril (*SAXtí*) trata del conjunto de valores (en sentido amplio), así como de los complejos de valores como son los

objetivos y fines, los códigos y las normas de la cultura inmaterial ingenieril. La información que maneja la comunidad profesional ingenieril de este sistema conceptual axiológico es fundamentalmente de tipo pragmático evaluativo o valorativo. Es relativamente sencillo advertir que el sistema conceptual axiológico va a ser un sistema con una clara impronta histórica, y también con una importante historicidad.

La huella histórica puede observarse tanto en los componentes (fundamentalmente en los valores) presentes en el sistema axiológico, como en el tipo de valores, como en la posición (interna o externa) que ocupan determinados tipos de valores en la estructura del sistema para un momento temporal determinado.

Sólo algunos tipos de valores, como los básicos (del sistema bio-psíquico) que se asocian con los valores del individuo agente humano intencional, poseen una cierta atemporalidad dentro del intervalo de tiempo de referencia (s. XIX-XX). Pero la mayor parte, como se ha dicho, están relacionados con la variable tiempo, aunque en distintos modos. En primer lugar estarían aquellos valores que están estrechamente vinculados a otros sistemas, como los valores internos epistémicos (VI-EPI), asociados al estado del sistema conceptual epistémico, así como los valores internos ingenieriles (VI-ING) estarían asociados a los componentes del trasfondo de conocimiento ingenieril (TCE-ING) del sistema epistémico, como los valores internos tecnológicos (VI-TEC) reflejan el estado del trasfondo de conocimiento tecnológico del sistema epistémico, y también –en estos casos– al conjunto del sistema complejo ingenieril. En este grupo se encontrarían también los valores centrales del sistema complejo, que están definidos como valores objetivos internos (VA-OBint). Este grupo de valores está relacionado con la historia y la historicidad de los componentes correspondientes del sistema epistémico⁴³⁰, y también con la globalidad del sistema complejo ingenieril. Esto hace que sean valores que puedan ser suprimidos, modificados o incorporados, típicamente por la comunidad profesional ingenieril, pero que tienen una inercia considerable puesto que dependen de variaciones sistémicas de cierta magnitud.

Otro importante grupo de valores que tienen claras características históricas y de historicidad para el sistema axiológico son los valores externos que pueden ser internalizados. Esa transformación (de externo a interno) que es relevante para la estructura del sistema axiológico, en tanto que son valores que pasan de ser entorno (E) a ser componentes (C) del sistema axiológico, ocurre para valores componentes inicialmente del supersistema social o, más concretamente, de los sistemas político, económico o cultural⁴³¹. Otra procedencia posible de los valores externos vendría relacionada con elementos del supersistema ecológico. Todos estos valores pueden encontrarse en distintos grados de consolidación institucional, desde valores indicativos u optativos hasta requerimientos normativos legales. Tanto el tipo de valores internalizados, como el grado de institucionalización de los mismos, da cuenta de una marcada historicidad del sistema axiológico. Siguiendo el ejemplo de los libros de texto para el sistema epistémico, los códigos y normas legales –entre otras modalidades– permiten datar cronológicamente distintos momentos que puede atravesar un valor determinado, o la aparición (y desaparición de valores).

⁴³⁰ Entre las relaciones más intensas del sistema epistémico con el axiológico están las que tienen que ver con el hecho de que los valores internos de este tipo (epistémicos, ingenieriles, tecnológicos...) están mayoritariamente formulados a partir de conceptos componentes del sistema epistémico.

⁴³¹ Los valores externos, procedentes de estos sistemas sociales, al margen de que lleguen o no a estar internalizados en el esquema axiológico, proceden típicamente de sistemas epistémicos de las tecnologías sociales o de las ciencias sociales de que puedan proceder. Esta procedencia no implica, pero puede suponer, que entre los trasfondos científicos o tecnológicos de la ingeniería que se encuentre, aparezcan también las ciencias o las tecnologías de donde proceden los conceptos que nutren teóricamente los valores o complejos de valores.

En síntesis los elementos históricos y la historicidad del sistema axiológico responderían, con una cierta inercia, a posiciones correspondientes de componentes del sistema axiológico. Asimismo, el sistema axiológico muestra una historicidad, con repercusiones para el propio sistema, en la dinámica de incorporación (internalización) de valores externos, de los supersistemas social y ecológico, como componentes (valores contextuales internalizados) del sistema axiológico.

5.5.1.6 Historia e historicidad del sistema conceptual ético ingenieril (*SETti*)

El sistema conceptual ético ingenieril se considera, para el nivel general de la tecnología, como un subsistema, junto con el axiológico. Por este motivo, aunque ya en este nivel de la ingeniería se ha optado por tratarlos como sistemas diferenciados, mantienen un elevado grado de relación e interdependencia. De ahí que en este punto vaya a tratar exclusivamente los aspectos claramente diferenciados. Para lo semejante, puede valer con las reflexiones hechas sobre el sistema axiológico.

Una primera diferencia entre ambos sistemas es que el tipo de información que fluye entre los componentes del sistema ético ingenieril no es solamente evaluativa o valorativa, sino también práctica, en tanto que la ética incorpora, además de los valores, criterios y juicios valorativos. Otra diferencia del sistema ético es que su estructura refleja el conflicto dinámico entre valores positivos y los correspondientes valores negativos (o antivalores). Esto ocurre gracias a la capacidad para elegir entre alternativas que tiene la agencia humana intencional, tanto como individuo (micronivel ético), como comunidad profesional (mesonivel ético) o como complejo institucional (macronivel ético). Para este último, ya se ha visto (subsistema óntico del complejo institucional) cómo su arquitectura (institucional) se hace progresivamente más compleja durante el transcurso el siglo XX. Estas cuestiones han hecho que la ética ingenieril fuera objeto de estudio preferente en las últimas décadas del siglo XX, de modo que hay disponibles estudios (descriptivos y prescriptivos) sobre ética ingenieril que nos permiten conocer –en un determinado corte temporal– su ‘estado del arte’.

No sólo el conjunto de valores, sino las parejas determinadas (valor positivo/valor negativo) permiten que el campo de valores se desplace hacia unos términos u otros. Las relaciones entre los valores del campo ético definen una estructura que puede pasar de un estado estacionario o estable, a estados con cambios de magnitud apreciable. Así, por ejemplo, la apelación corriente a ‘crisis de valores’ de lo que habla es de procesos sistémicos de reajuste de las relaciones entre componentes, bien por la incorporación de nuevos componentes, por la revalorización o devaluación de valores, o por la infravaloración o sobrevaloración de los mismos. Estas dinámicas del sistema ético pueden deberse a factores internos (del sistema bio-psíquico o del sistema complejo ingenieril) o a elementos externos o contextuales (tanto del supersistema social, como del supersistema ecológico), que reflejan no solamente hechos datables cronológicamente sino la historicidad ampliada del sistema ético respecto del sistema axiológico.

5.5.2 Historia e historicidad del sistema complejo de la ingeniería (*S²ING*)

Si hasta el momento se ha revisado los elementos históricos e historicidad de los sistemas componentes del sistema complejo ingenieril, ahora cumple dar cuenta del conjunto de la ingeniería. Para ello voy a tener en cuenta aspectos de cada uno de los sistemas componentes, pero también muy especialmente los cuatro sistemas funcionales praxiológicos, puesto que son los que, a modo de mecanismo (M), completan la estructura del conjunto del sistema.

Antes de pasar a los sistemas funcionales praxiológicos, puede presentarse una gradación de la importancia de los aspectos históricos y de las características de historicidad que se

observa en los distintos sistemas y subsistemas. Si se ordenan los sistemas de menor a mayor relevancia de las características históricas y de la historicidad, resultaría⁴³², tanto para el conjunto de los sistemas (i), como para los sistemas y subsistemas relevantes (ii), el orden:

(i) $SLG < SME < SAX < SET < SON < SEP$

(ii) $SON-AHC < SLG < SME < SON-TOP < SAX < SON-CIN < SET < SEP < SON-ART$

Todos estos sistemas y subsistemas son, a su vez, componentes del sistema complejo de la ingeniería. En esta actividad se han reconocido cuatro funciones características del sistema complejo, y por tanto de la operatividad, integridad y sostenibilidad de la ingeniería. Ya se ha visto que estos cuatro sistemas funcionales praxiológicos son: el académico-docente (*SPRA-Ati*), el de cambio ingenieril o sistema I+D+i (*SPRA-Cti*); el de producción (*SPRA-Pti*); y el de gestión y control del sistema (*SPRA-Gti*). Estos sistemas funcionales praxiológicos responden a la estructura general de secuencia *inputs*→*outputs*, a través de una serie de acciones, de modo que se involucran componentes de todos los sistemas que ya se han visto. Por esta razón, los sistemas funcionales praxiológicos están preconditionados por la historia e historicidad propia de los componentes y sistemas que los van a formar.

5.5.2.1 Historia e historicidad del sistema praxiológico académico (*SPRA-Ati*)

El sistema funcional praxiológico docente de una ingeniería (*SPRA-Ati*) es el que responde de la transmisión institucionalizada, a un individuo determinado, del conjunto de las competencias profesionales suficientes como para que, llegado el caso, pueda incorporarse a la comunidad profesional ingenieril (COPTi). Esta función da continuidad a lo largo del tiempo a la comunidad profesional, y por este motivo, da continuidad histórica al sistema complejo ingenieril.

El comienzo esta función docente institucionalizada puede rastrearse hasta finales del s. XVIII y principios del XIX, cuando se crean en Europa y Norteamérica las primeras escuelas politécnicas civiles. Aunque podrían señalarse aspectos que han ido cambiando a lo largo del tiempo, y también diferencias culturales (por ejemplo entre el modelo formativo europeo continental y el anglosajón), básicamente el modelo sigue siendo el mismo: individuos no pertenecientes a la comunidad profesional ingenieril que optan a formar parte de la misma; una comunidad académico-docente que procede de comunidades profesionales ingenieriles y científicas; un programa plurianual de materias que deben cursarse; y un complejo institucional (escuela técnica) universitario o equivalente, incluyendo las dotaciones de aulas, bibliotecas, laboratorios y talleres.

De entre estos cuatro elementos, lo más relevante en dimensión histórica serían, con diferencia, los determinados contenidos de ese programa plurianual de materias que deben cursarse para adquirir la condición de titulado en ingeniería. Estos contenidos han variado a lo largo del tiempo en respuesta, al menos, a dos fenómenos diferentes: i) un proceso general de especialización mediante divergencia, que da lugar a una colección de diferentes disciplinas que responden a períodos históricos determinados; ii) el progreso (como cambio con mejora cuantitativa y cualitativa), aún para una determinada disciplina ingenieril, de los conocimientos científicos y tecnológicos sobre fenómenos, objetos y procesos de todo tipo.

El primer proceso, el de especialización ingenieril está muy relacionado con la demanda de una determinada actividad profesional ingenieril, lo que a su vez depende de las

⁴³² Expresado de forma completa: sistemas semióticos (lenguajes y gráficos) < sistema metodológico < sistema axiológico < sistema ético < sistema ontológico material < sistema epistémico.

posibilidades (y demandas) del sistema productivo ingenieril. De este modo, este proceso es muy dependiente del comportamiento del subsistema óptico de artefactos y sistemas artefactivos (o de lógica de producción ingenieril recurso-artefacto-producto) que identifico como *SON-ARTti*, que es el subsistema más sensible a los cambios históricos y que también presenta una mayor historicidad.

Por otra parte, el segundo fenómeno que afecta a los contenidos del programa formativo ingenieril, el progreso de los conocimientos, está íntimamente ligado al sistema epistémico ingenieril (*SEPTi*), que acabo de distinguir como el sistema de mayor sensibilidad a lo histórico y acusada historicidad.

5.5.2.2 Historia e historicidad del sistema praxiológico de cambio (*SPRA-Cti*)

El sistema funcional praxiológico de cambio ingenieril (*SPRA-Cti*) es el que da cuenta del mecanismo de cambio del propio supersistema ingenieril. Ya he señalado que opto por la denominación genérica de ‘cambio’ para referirme –sin mayores precisiones– a lo que diferentes autores han tratado como progreso o desarrollo tecnológico. En todo caso, lo relevante de este sistema funcional, en términos de historia e historicidad, es que su función es precisamente la de articular e impulsar procesos de cambio cualitativo y cuantitativo en la actividad ingenieril. Como en el caso anterior, aunque el propio sistema funcional (a través del subsistema de I+D y el subsistema de innovación) tiene por objeto el impulso de cambios en el tiempo, este sistema no ha presentado cambios apreciables históricos en su configuración, especialmente la metodológica. De hecho, el sistema metodológico ingenieril (*SMEti*) se acaba de situar en la parte más baja (de historia e historicidad) respecto al conjunto de los sistemas ingenieriles.

Podría decirse entonces que el sistema praxiológico de I+D+i es relativamente estable (históricamente) en cuanto a su metodología interna, mientras que es relativamente dinámico en cuanto a la obtención de resultados: novedades cuantitativas y cualitativas en formas, materiales y procesos ingenieriles.

5.5.2.3 Historia e historicidad del sistema praxiológico de producción (*SPRA-Pti*)

El sistema funcional praxiológico de producción tiene, como en el caso anterior, una estructura general que es relativamente estable históricamente. Los modelos generales de proyecto, construcción y operación, así como su relación con los operadores institucionales, son relativamente constantes en un intervalo temporal largo. Sin embargo, también como en el caso anterior, los resultados (recursos-artefactos-productos) que forman parte consustancial del subsistema óptico material (ii) están entre los que presentan mayor sensibilidad histórica y un más elevado grado de historicidad.

5.5.2.4 Historia e historicidad del sistema praxiológico de gestión (*SPRA-Gti*)

Para el caso del sistema funcional praxiológico de gestión y control (*SPRA-Gti*), que responde de las genéricas actividades de gestión y control del conjunto del supersistema y que, por tanto, sería responsable del control del conjunto del supersistema y además de cada uno de los sistemas, ocurre algo parecido a todos los anteriores. Se trata de una estructura muy estable en el tiempo, que presenta cambios sólo en relación con los proporcionales del subsistema óptico del complejo institucional. De nuevo, la historia e historicidad del sistema funcional praxiológico, podría considerarse como relativamente baja, a pesar de la dinámica de algunos de sus componentes.

5.5.3 Presente (s. XXI): representación del sistema complejo ingenieril (S^2ING)

Dadas las características del sistema complejo de la ingeniería, antes de pasar a un desarrollo pormenorizado de los diferentes elementos, puede resultar conveniente presentar ahora cuatro gráficos en donde se pueda visualizar: i) los componentes-sistema (C), así como su entorno (E), del sistema complejo ingenieril; ii) los mecanismos (M) del sistema ingenieril y su estructura (S) asociada; iii) la representación de lo que sería un estado inicial (t_0) del sistema ($S^2ING_{t_0}$), a través de una función praxiológica genérica, hasta un estado final (t_1) del sistema ($S^2ING_{t_1}$); y iv) la representación integrada CESM (componentes, entorno, estructura y mecanismos) del sistema complejo ingenieril (S^2ING).

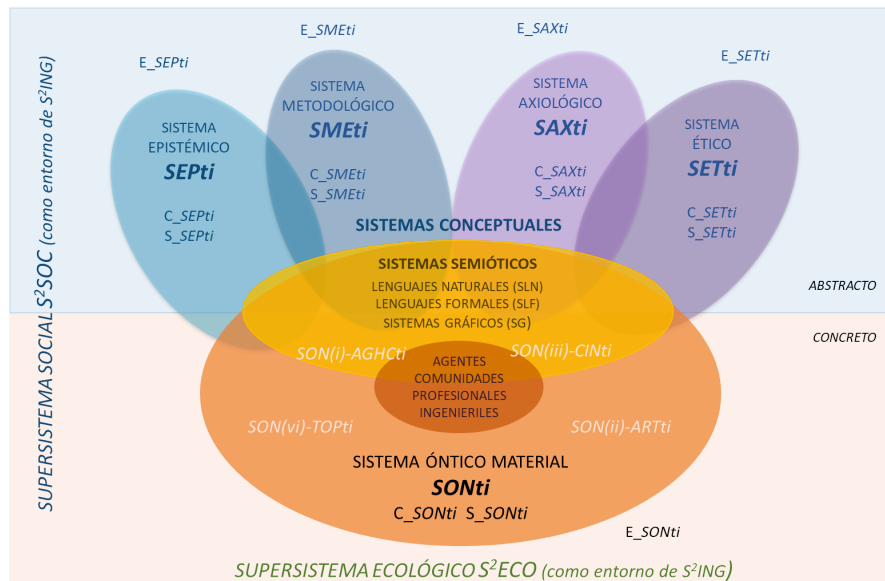


Fig. 5.3.3.a) Componentes-sistema (C) y entorno (E) del sistema complejo ingenieril (S^2ING)

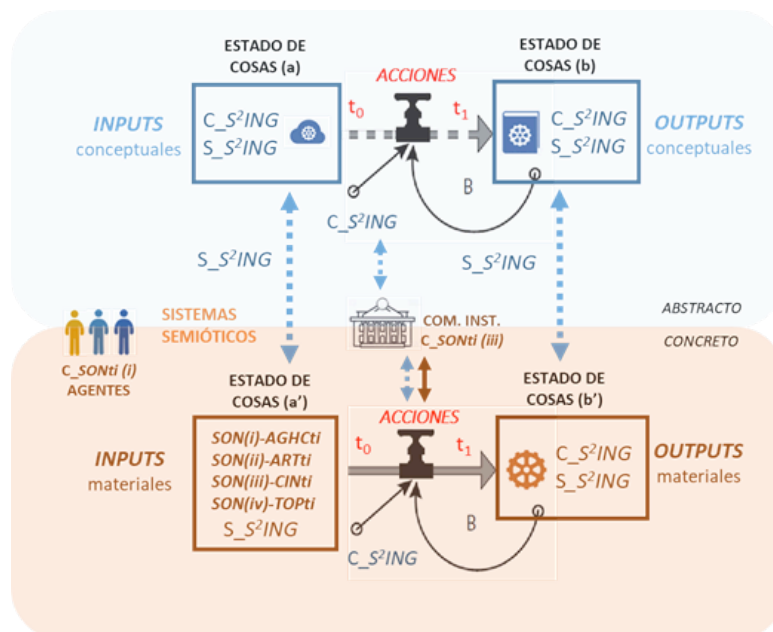


Fig. 5.3.3.b) Mecanismo (M) como sistema praxiológico, y estructura (S) asociada del sistema (S^2ING)

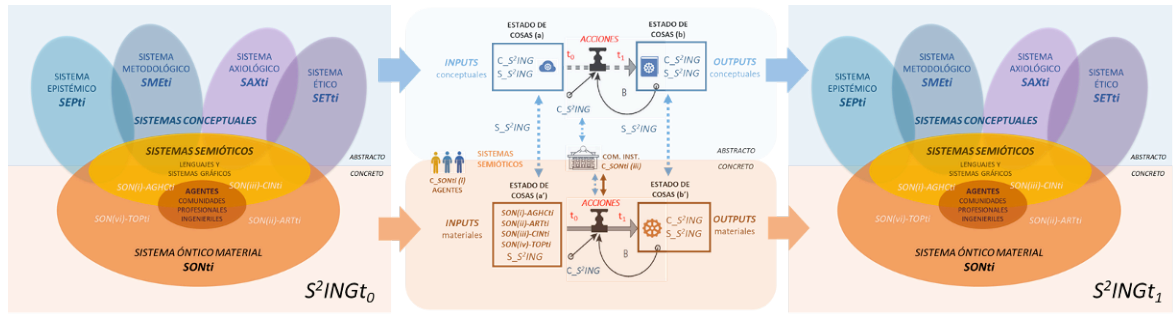


Fig. 5.3.3.c) Modificación del sistema complejo ingenieril (S^2ING) desde un estado t_0 a un estado t_1

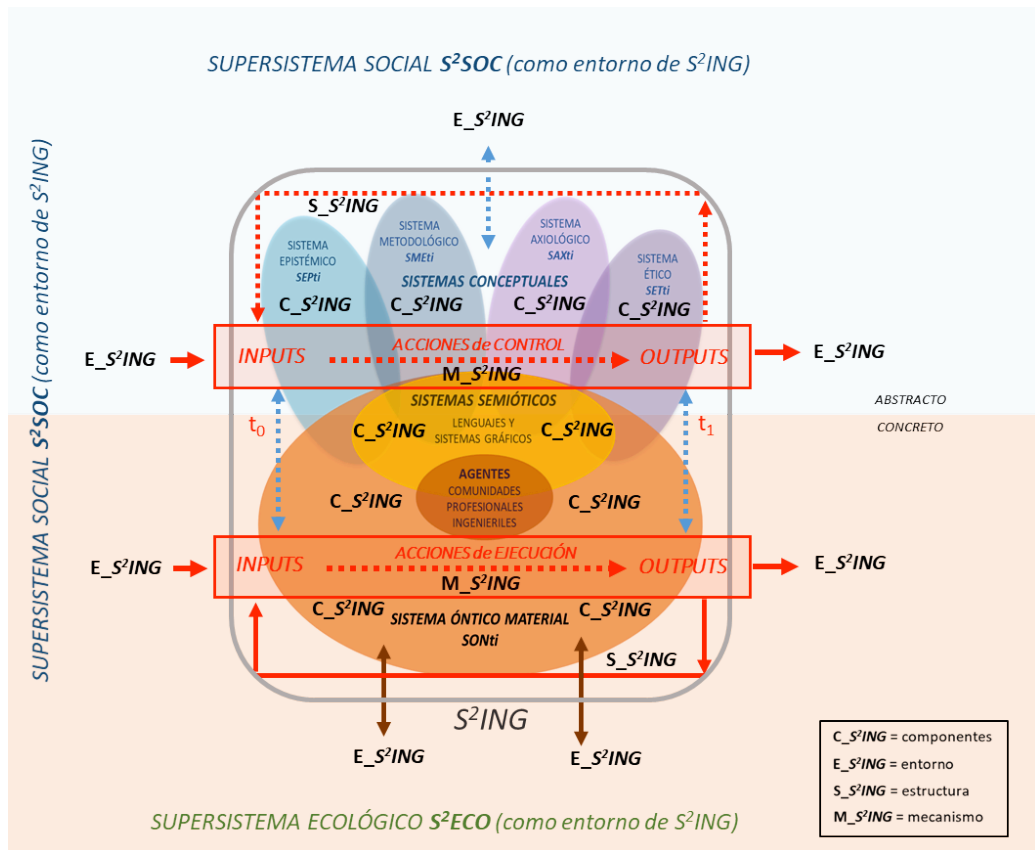


Fig. 5.3.3.d) Representación integrada (tipo CESM) del sistema complejo ingenieril (S^2ING)

De acuerdo con lo expuesto hasta el momento, podría describirse y representarse –ya con un cierto grado de detalle– como *explicatum* de la ingeniería para un momento t dado (s. XXI), un modelo (μ) de elucidación filosófica sistemista Bunge-Quintanilla del sistema complejo ingenieril (S^2ING), organizado según la cuaterna CESM (componentes⁴³³, entorno, estructura y mecanismos):

$$\mu (S^2ING)_{xxi} = \langle C(S^2ING), E(S^2ING), S(S^2ING), M(S^2ING) \rangle$$

⁴³³ Como se ha observado, al desarrollar cada componente-sistema del sistema complejo ingenieril (S^2ING) se han incluido los componentes (C) de cada sistema, su entorno (E) y estructura (S). Pero, para simplificar esta representación, muestro para cada sistema sólo los subsistemas, en su caso, y los componentes (C), excluyendo el entorno (E) y estructura (S).

donde,

$C(S^2ING)$ o C_S^2ING : componentes-sistema del sistema complejo ingenieril, entre los que se encuentran el sistema óntico material ($SONti$)⁴³⁴; los sistemas semióticos, tanto lingüísticos, agrupados como lenguajes naturales ($SLNti$) y lenguajes formales ($SLFti$), como gráficos ($SGti$); además de los sistemas conceptuales epistémico ($SEPt$), metodológico ($SMEti$), axiológico ($SAXti$) y ético ($SETti$);

$E(S^2ING)$ o E_S^2ING : entorno del sistema complejo ingenieril, destacando el supersistema social (S^2SOC) que integra el sistema político ($SOCpol$), económico ($SOCeco$) y el cultural ($SOCcul$), así como el supersistema ecológico (S^2ECOL);

$S(S^2ING)$ o S_S^2ING : estructura del sistema complejo ingenieril, donde se dan relaciones mediante flujos (materia, energía, información) tanto entre los componentes-sistema (endoestructura), y los componentes-sistema con el entorno (exoestructura);

$M(S^2ING)$ o M_S^2ING : mecanismos del sistema complejo ingenieril o colección de procesos característicos, representados por los sistemas funcionales praxiológicos ($SPRAti$), entre los que se identifican el académico-docente ($SPRA-Ati$), de cambio ingenieril ($SPRA-Cti$), de producción ($SPRA-Pti$) y de gestión y control ($SPRA-Gti$) del sistema complejo ingenieril.

Que a su vez se desarrolla como:

Componentes-sistema del sistema complejo ingenieril (S^2ING)

$$C_S^2ING = < SONti [AHC, ART, CIN, TOP], SLGti [LNti, LFti, SGti], \\ \text{sistemas conceptuales } [SEPt, SMEti, SAXti, SETti] >$$

donde,

C_S^2ING : componentes-sistemas del sistema complejo ingenieril (S^2ING);

$SONti$: sistema óntico material de la ingeniería, incluyendo los subsistemas de agencia humana (AHC), artefáctico (ART), institucional (CIN) y toposistema (TOP);

$SLNti$: sistemas semióticos (lingüísticos), como lenguajes naturales en la ingeniería;

$SLFti$: sistemas semióticos (lingüísticos), como lenguajes formales en la ingeniería;

$SGti$: sistemas semióticos, como sistemas gráficos en la ingeniería;

$SEPt$: sistema conceptual epistémico de la ingeniería;

$SMEti$: sistema conceptual metodológico de la ingeniería;

$SAXti$: sistema conceptual axiológico de la ingeniería;

$SETti$: sistema conceptual ético de la ingeniería;

que a su vez se desarrollan como:

Sistema óntico material ingenieril ($SONti$)

$$SONti = < (i)\text{-}AHti, (ii)\text{-}ARTti, (iii)\text{-}CINTi, (iv)\text{-}TOPti >$$

donde,

(i)- $AHti$: subsistema óntico material de agencia humana individual y comunidades profesionales;

⁴³⁴ Utilizo 'ti' como abreviatura de 'tecnologías ingenieriles', equivalente a ingeniería, al final de las denominaciones de sistemas, subsistemas o componentes, así $SONti$, $SLNti$...

- (ii)-ARTti : subsistema óptico material artefáctico en lógica recurso-artefacto-producto (R-A-P);
 (iii)-CINti: subsistema óptico material del complejo institucional;
 (iv)-TOPti: subsistema óptico material del sistema situado o toposistema.
 que a su vez se desarrollan como:

$$C_SON(i)-AHCti = < SEHti, AGIHti, AGIti, COAti, COUti, COPTi, \\ COPAti, COPIti, COPPt, COPGti >$$

donde,

$C_SON(i)-AHCti$: componentes del subsistema óptico material de agencia humana individual y comunidades profesionales;

SEHti : seres humanos del sistema óptico material de una ingeniería;

AGIHti : agentes intencionales humanos de una ingeniería;

AGIti : agentes intencionales (humanos o no humanos) de una ingeniería;

COAti : comunidades de agentes (intencionales o no intencionales);

COUti : comunidades de usuarios y relacionados (afectados) de ingeniería;

COPTi : comunidades profesionales (agentes intencionales) de una ingeniería;

COPAti : comunidades profesionales académicas de una ingeniería;

COPIti : comunidades profesionales de investigación de una ingeniería;

COPPt : comunidades profesionales de producción (bienes o servicios);

COPGti : comunidades profesionales de gestión de una ingeniería.

$$C_SON(ii)-ART-RAP$$

$$C_SON(iii)-CINti = < CIN^0-COPTi, CIN^{1-4}-Ati, CIN^{1-4}-Cti, CIN^{1-4}-Pti, \\ CIN^{1-4}-Gti >$$

donde,

$C_SON(iii)-CINti$: componentes del subsistema del sistema óptico material, como complejo institucional de la ingeniería;

$CIN^0-COPTi$: instituciones de las comunidades profesionales ingenieriles, como nivel 0 de complejidad óptica de este subsistema;

$CIN^{1-4}-Ati$: complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de la actividad académico-docente;

$CIN^{1-4}-Cti$: complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de las actividades de cambio o I+D+i ingenieriles;

$CIN^{1-4}-Pti$: complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de las actividades productivas ingenieriles;

$CIN^{1-4}-Gti$: complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de las actividades de gestión y control del sistema complejo ingenieril.

$$C_SON(iv)-TOPti = < TOP-POB, TOP-ART, TOP-CIN, TOP-ECO >$$

donde,

$C_SON(iv)-TOPti$: componentes del subsistema del sistema óptico material de la ingeniería, como sistema situado o toposistema;

TOP-POB : componentes poblacionales incorporados por transformación ingenieril, incluyendo específicamente la población afectada (TOP-POBafe);

TOP-ART : componentes artefactuales incorporados por la transformación ingenieril, incluyendo específicamente el ‘medio construido’ (TOP-ARTcon), y la ciudad como medio (TOP-ARTurb);

TOP-CIN : componentes institucionales incorporados por transformación ingenieril, procedentes de sistemas sociotécnicos del supersistema social (S^2SOC) o más particularmente del sistema cultural ($SOCcul$), sistema económico ($SOCeco$) o sistema político ($SOCpol$);

TOP-ECO : componentes del medio natural o del supersistema ecológico (S^2ECO) incorporados por transformación ingenieril.

Sistemas semióticos de lenguajes naturales ($SLNti$), como:

$$C_SLNti = < COPTi, LN^0-ORDn, LN^{1-4}-ORDn, LN^{1-3}-CIEn, LN^{1-4}-TECn >$$

donde,

C_SLNti : componentes de sistemas semióticos de lenguajes naturales en la ingeniería;

$COPTi$: comunidades profesionales de la ingeniería, formadas por agentes humanos intencionales capaces de compartir determinados lenguajes;

LN^0-ORDn : componentes de nivel léxico 0, caracteres alfanuméricos de tipo n;

$LN^{1-4}-ORDn$: componentes de lenguaje natural ordinario desde nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 4, correspondientes a un mismo idioma n (ej. castellano, inglés...);

$LN^{1-3}-CIEn$: componentes de lenguaje natural especial científico, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 3, correspondientes a ‘n’ como una o varias disciplinas científicas;

$LN^{1-4}-TECn$: componentes de lenguaje natural especial tecnológico, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 4, correspondientes a ‘n’ como una o varias disciplinas tecnológicas ingenieriles.

Sistemas semióticos de lenguajes formales (SLF): matemáticos e informáticos

$$C_SLF-MATti = < COPTi, LF^{0-4}-MATx, LNti^{0-3}, SG^{0-4}-SIMti >$$

donde,

$C_SLF-MATti$: componentes del sistema semiótico de lenguajes formales matemáticos en la ingeniería ($SLF-MATti$);

$COPTi$: comunidades profesionales de la ingeniería;

$LF^{0-4}-MATx$: conjunto de componentes característicos, desde el nivel léxico 0 hasta el nivel léxico 4, de un lenguaje matemático ‘x’ o varios lenguajes matemáticos;

$LNti^{0-3}$: conjunto de componentes, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 3, de un lenguaje natural ingenieril;

SG^{0-4} -SIMti : conjunto de componentes, desde el nivel léxico 0 hasta el 4, del sistema gráfico simbólico de ingeniería.

$$C_{LF-INFpro-ti} = \langle COPTi, ARTF^4-TIC, LF^{0-4}-INFpro-x, LNti^{0-3}, SG^{0-2}-SIMti \rangle$$

donde,

$C_{LF-INFpro-ti}$: componentes de sistema semiótico de lenguaje formal informático de programación en ingeniería;

COPTi : comunidades profesionales de la ingeniería;

ARTF⁴-TIC : artefactos tecnologías de información del nivel óntico 4 (ordenadores...);

LF⁰⁻⁴-INFpro-x : conjunto de componentes característicos, desde el nivel léxico 0 hasta el nivel léxico 4, de un lenguaje informático de programación 'x';

LNti⁰⁻³ : conjunto de componentes adicionales, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 3, de un lenguaje natural ingenieril;

SG⁰⁻²-SIMti : conjunto de componentes adicionales, desde el nivel léxico 0 hasta el 2, del sistema gráfico simbólico de ingeniería.

Sistemas semióticos gráficos (SG): icónicos y simbólicos

$C_{SG-ICOTi}$ (componentes del sistema semiótico gráfico icónico de la ingeniería)

$$C_{SG-SIMti} = \langle COPTi, SG^0-SIMti, SG^1-SIMti, SG^2-SIMti, LN^{1-2}-ORDn, SG^3-SIMti, SG^4-SIMti \rangle$$

donde:

$C_{SG-SIMti}$: componentes del sistema semiótico gráfico simbólico de la ingeniería;

COPTi : comunidades profesionales de la ingeniería;

SG⁰-SIMti : componentes de nivel léxico 0 del sistema gráfico simbólico;

SG¹-SIMti : componentes gráficos simbólicos unidimensionales (L o T);

SG²-SIMti : componentes gráficos simbólicos bidimensionales (L² o LT);

LN¹⁻²-ORDn : código o leyenda en lenguaje natural que acompaña a la figura;

SG³-SIMti : componentes gráficos tridimensionales proyectados (L3 proyectado en L2 o L2T);

SG⁴-SIMti : componentes tetradimensionales, tipo L3 proyectado en L2 incluyendo la dimensión temporal (T).

Sistema conceptual epistémico ingenieril (SEPTi), como:

$$C_{SEPTi} = \langle SLNti, SLFti, SGti, TF^n-Mti, TCE^{1-5}-CIEc, TCE^{1-5}-TEC1x, TCE^{1-5}-TEC2x, TCE^{1-5}-ING1y, TCE^{1-5}-ING2y, FC^{1-3}-ING1opimi, FC^{1-4}-ING1opei, FC^{1-5}-ING1i, FC^{1-5}-ING2opi, FC^{1-5}-ING2rei, FC^{1-5}-ING2i \rangle$$

donde,

C_{SEPTi} : componentes del sistema epistemológico de la ingeniería (SEPTi);

SLNti : componentes-sistema de los lenguajes naturales en la ingeniería;

SLFti : componentes-sistema de lenguajes formales en ingeniería;

SGti : componentes-sistema de sistemas gráficos en ingeniería;
TFⁿ-Mti : componentes de trasfondo formal matemático, en diferentes niveles epistémicos;
TCE¹⁻⁵-CIEc : componentes (nivel epistemológico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico científico, de una o varias disciplinas científicas ‘c’;
TCE¹⁻⁵-TEC1x : componentes (nivel epistemológico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico tecnológico primario, de una o varias disciplinas tecnológicas ‘x’;
TCE¹⁻⁵-TEC2x : componentes (nivel epistemológico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico tecnológico secundario, de una o varias disciplinas tecnológicas ‘x’;
TCE¹⁻⁵-ING1y : componentes (nivel epistemológico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico ingenieril primario, de una o varias disciplinas ingenieriles ‘y’;
TCE¹⁻⁵-ING2x : componentes (nivel epistemológico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico ingenieril secundario, de una o varias disciplinas ingenieriles ‘y’;
FC¹⁻³-ING1opimi : componentes (nivel epistemológico 1 al 3) de fondo de conocimiento ingenieril primario operacional-implícito de una determinada disciplina ingenieril ‘i’;
FC¹⁻⁴-ING1opei : componentes (nivel epistemológico 1 al 4) de fondo de conocimiento ingenieril primario operacional-explicito de una determinada disciplina ingenieril;
FC¹⁻⁵-ING1i : componentes (nivel epistemológico 1 al 5) del fondo de conocimiento ingenieril primario de una determinada disciplina ingenieril;
FC¹⁻⁴-ING2opi : componentes (nivel epistemológico 1 al 4) de fondo de conocimiento ingenieril secundario operacional de una determinada disciplina ingenieril;
FC¹⁻⁴-ING2rei : componentes (nivel epistemológico 1 al 4) de fondo de conocimiento ingenieril secundario representacional de una determinada disciplina ingenieril;
FC¹⁻⁵-ING2i : componentes (nivel epistemológico 1 al 5) del fondo de conocimiento ingenieril secundario de una determinada disciplina ingenieril ‘x’.

Sistema conceptual metodológico ingenieril (*SMEti*), como:

$C_SMEti = \langle SLNti, SLF-MATti, SLF-INFti, SG-ICoti, SG-SIMti, MF-CONti, MF-DOCTi, MCP-PYEtI, MCP-ANAti, MCP-CALti, MCP-REPtI, MCP-EVAti, MCP-DISTi, MC-DISinv, MC-DISinn, MP-DISTi, MP-RECTi, MP-ARTti, MP-PROti, MP-ORGti, MP-GESTi, MP-CONti, MG-ADMti, MG-EVAti, MG-CONti \rangle$

donde,

C_SMEti : componentes del sistema metodológico de la ingeniería (*SMEti*);
SLNti : componentes-sistema de lenguajes naturales de la ingeniería;
SLF-MATti : componentes-sistema de lenguajes formales matemáticos ingenieriles;
SLF-INFti : componentes-sistema de lenguajes formales informáticos;
SG-ICoti : componentes-sistema de sistemas gráficos icónicos ingenieriles;

SG-SIMti : componentes-sistema de sistemas gráficos simbólicos ingenieriles;
MF-CONti : métodos de conservación y gestión documental de la ingeniería;
MF-DOCTi : métodos formativos docentes-académicos en la ingeniería;
MCP-PYEt : métodos (en cambio y producción) de prueba y error en la ingeniería;
MCP-ANAti : métodos (en cambio y producción) de análisis en ingeniería;
MCP-CALti : métodos (en cambio y producción) de cálculo en ingeniería;
MCP-REPt : métodos (en cambio y producción) de representación en ingeniería;
MCP-EVAti : métodos (en cambio y producción) de evaluación en ingeniería;
MCP-DISTi : métodos (en cambio y producción) de diseño ingenieril;
MC-DISinv : métodos de diseño para investigación ingenieril;
MC-DISinn : métodos de diseño para innovación en ingeniería;
MP-DISTi : métodos de diseño para la producción en ingeniería;
MP-RECTi : métodos de producción orientados al recurso en ingeniería;
MP-ARTti : métodos de producción orientados al artefacto en ingeniería;
MP-PROti : métodos de producción orientados al producto (bienes o servicios);
MP-ORGti : métodos de organización de la producción en ingeniería;
MP-GESTi : métodos de gestión de la producción en ingeniería;
MP-CONti : métodos de control en la producción en ingeniería;
MG-ADMti : métodos de administración en la gestión del sistema ingenieril;
MG-EVAti : métodos de evaluación (externa) en la gestión del sistema ingenieril;
MG-CONti : métodos de control en la gestión del sistema ingenieril.

Sistema conceptual axiológico ingenieril (*SAXti*), como:

$C_SAXti = < SLN-ORDti, SLN-TECti, SLF-LOGti, VB-HBti, VB-HPti, VB-MORTi, VB-COGti, VB-ESTti, VI, VC-TECti, VC-CULTi, VC-ECONti, VC-POLti, VC-ECOLti, VA-OBti, CPR-COPTi, CTeti, NL-TEC, NL-ECON, NL-POL, NL-ECOL >$

donde,

C_SAXti : componentes del sistema axiológico de la ingeniería (*SAXti*);
SLN-ORDti : componente-sistema de lenguaje natural ordinario en la ingeniería;
SLN-TECti : componente-sistema de lenguaje natural técnico ingenieril;
SLF-LOGti : componente-sistema de lenguaje formal lógico en ingeniería;
VB-HBti : valores básicos humanos biológicos en la ingeniería;
VB-HPti : valores básicos humanos psicológicos en ingeniería;
VB-MORTi : valores básicos morales en actividad ingenieril;
VB-COGti : valores básicos cognitivos en la actividad ingenieril;
VB-ESTti : valores básicos estéticos en la ingeniería;
VI : valores ingenieriles (incluye los valores ontológicos, epistemológicos, metodológicos, axiológicos, éticos y praxiológicos) característicos de la ingeniería;
VC-TECti : valores contextuales (internalizados) del sistema tecnológico no ingenieril;
VC-CULTi : valores contextuales internalizados del sistema cultural;
VC-ECONti : valores contextuales (internalizados) del sistema económico;

VC-POLti : valores contextuales (internalizados) del sistema político;
 VC-ECOLti : valores contextuales (internalizados) del sistema ecológico;
 VA-OBti : objetivos, como valores articulados, del sistema ingenieril;
 CPR-COPTi : códigos deontológicos de la comunidad profesional ingenieril;
 CTETi : códigos y normas técnicas ingenieriles;
 NL-TEC : normas legales pertinentes del sistema tecnológico no ingenieril;
 NL-ECON : normas legales pertinentes del sistema económico;
 NL-POL : normas legales pertinentes del sistema político;
 NL-ECOL : normas legales relativas al sistema ecológico.

Sistema conceptual ético ingenieril (*SETti*)

$C_SETti = < SLN-ORDti, SLN-TECti, SLF-LOGti, VB, VI, VC, VA-PRti, VA-OBti, VA-FIti, VA-CRti, CEM, CPR-COPTi, CTETi, NL-SEC, NL-GEN >$

donde,

C_SETti : componentes del sistema ético de la ingeniería;
 $SLN-ORDti$: componente-sistema de lenguaje natural ordinario en la ingeniería;
 $SLN-TECti$: componente-sistema de lenguaje natural técnico ingenieril;
 $SLF-LOGti$: componente-sistema de lenguaje formal lógico en ingeniería;
 VB : valores (y antivalores) básicos en ingeniería;
 VI : valores (y antivalores) ingenieriles, que incluye los valores ontológicos, epistemológicos, metodológicos, axiológicos, éticos y praxiológicos característicos de la ingeniería;
 VCti : valores (y antivalores) contextuales internalizados de la ingeniería;
 VA-PRti : principios (valores articulados) del sistema ingenieril;
 VA-OBti : objetivos (valores articulados) del sistema ingenieril;
 VA-FIti : fines (valores articulados) del sistema ingenieril;
 VA-CRti : criterios (valores articulados) del sistema ingenieril;
 CEM : código ético-moral de individuos de las comunidades profesionales ingenieriles;
 CTETi : códigos técnicos ingenieriles de las comunidades profesionales ingenieriles;
 CPR-COPTi : códigos profesionales o deontológicos de la comunidad profesional ingenieril;
 NL-SEC : normas legales sectoriales del área de intervención ingenieril;
 NL-GEN : normas legales generales de aplicación a las actividades ingenieriles, internalizadas desde los sistemas político (NL-POL), económico (NL-ECON), cultural (NL-CUL), del supersistema social (NL-SOC), o del sistema ecológico (NL-ECOL).

Entorno (supersistemas) del sistema complejo ingenieril (S^2ING)

$E_S^2ING = < S^2SOC [SOCpol, SOCeco, SOCcul], S^2ECOL, S^2TOP >$

donde,

E_S^2ING : entorno (supersistemas) del sistema complejo de la ingeniería (S^2ING);

S^2SOC : supersistema social, que integra el sistema político ($SOCpol$), sistema económico ($SOCeco$) y el sistema cultural ($SOCcul$);

S^2ECOL : supersistema ecológico;

S^2TOP : supersistema tópico, como supersistema entorno del toposistema óntico, excluyendo el ámbito de los supersistemas anteriores.

Estructura (endo y exoestructura) del sistema complejo ingenieril (S^2ING)

$$S_S^2ING = < rMATti, rENETi, rINFti [rINF-SIN, rINF-SEM, rINF-PRA] >$$

donde,

S_S^2ING : estructura (endo y exoestructura) del sistema complejo ingenieril, en donde la endoestructura responde a las relaciones (C-C) entre los componentes-sistema, y la exoestructura a las relaciones (C-E) de componentes-sistema con entorno;

$rMATti$: relaciones de materia, de naturaleza física, química o biológica, entre sistemas (o subsistemas) concretos del sistema complejo ingenieril, o bien entre éstos y su entorno;

$rENETi$: relaciones de energía, de naturaleza física o química, entre componentes-sistema (o subsistema) concretos del sistema complejo ingenieril, o bien entre éstos y su entorno;

$rINFti$: relaciones de información entre componentes-sistema (o subsistema) del sistema complejo ingenieril, o bien con su entorno, pudiendo distinguirse los tipos de relaciones informativas sintácticas o estructurales ($rINF-SIN$), relaciones informativas semánticas ($rINF-SEM$), y relaciones informativas pragmáticas ($rINF-PRA$), pudiendo encontrarse entre estas últimas las de tipo descriptivo o representativo ($rINF-PRAdes$), de tipo práctico ($rINF-PRApra$) o de tipo valorativo o evaluativo ($rINF-PRAval$).

Mecanismos del sistema complejo ingenieril (S^2ING)

$$M_S^2ING = < SPRA-Ati, SPRA-Cti [CID, CIN], SPRA-Pti [PPR, PCO], SPRA-Gti >$$

donde,

M_S^2ING : mecanismos del sistema complejo ingenieril;

$SPRA-Ati$: sistema funcional praxiológico académico-docente de la ingeniería;

$SPRA-Cti$: sistema funcional praxiológico de cambio ingenieril, que incluye el subsistema de investigación y desarrollo ($SPRA-CIDti$), y el subsistema de innovación ($SPRA-CINti$);

$SPRA-Pti$: sistema funcional praxiológico productivo de la ingeniería, que incluye el subsistema de proyectos (diseño) ($SPRA-PPRti$) y el subsistema de construcción y operación ($SPRA-PCOti$) de los sistemas técnicos característicos de la ingeniería;

$SPRA-Gti$: sistema funcional praxiológico de gestión y control de los sistemas componentes y del conjunto del sistema complejo ingenieril (S^2ING).

PARTE 3ª CASO DE ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA

6 INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL: *EXPLICANDUM* E INTERÉS DE UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA

Una primera reflexión: como ya se ha avanzado, prácticamente no hay nada trabajado desde la perspectiva filosófica sobre la ingeniería civil y ambiental sanitaria. De ahí que, en consonancia con las bases metodológicas, una primera exploración desde el ámbito elucidatorio filosófico de la ingeniería sanitaria vaya a requerir –a modo de familiarización con la materia– la identificación de la actividad, de los fenómenos, de los conceptos y redes de conceptos que interesan a esta actividad ingenieril, entendida como *explicandum*. Lo cual precisa de un reconocimiento de los antecedentes en el tratamiento de los componentes primarios para una elucidación filosófica de la ingeniería sanitaria. Para presentar la ingeniería sanitaria como *explicandum*, se expone en el primer apartado un recorrido por sus antecedentes históricos, mientras que en el segundo apartado se presenta lo que podría ser el marco actual de conocimientos y práctica de la ingeniería sanitaria y ambiental.

Así, en el primer apartado, los antecedentes de la ingeniería sanitaria (como *explicandum*) se exploran desde el siglo XIX hasta el hito temporal de finales del siglo XX. Este planteamiento de reflexión histórica como uno de los fundamentos del análisis, está basado en las tesis mantenidas por los historiadores Guldi y Armitage en su *Manifiesto por la Historia* (2016), en donde reivindican la necesidad de una revisión histórica de larga duración (*longue durée*) para conseguir que la propia historia ayude a señalar pautas de transformación de largo plazo, genuinamente estratégicas. Se exponen y revisan las aportaciones históricas de la ingeniería sanitaria, mencionando las fuentes primarias, las historias o cronologías de que se dispone, y los estudios históricos relacionados de aspectos como el higienismo, urbanismo y ambientalismo. De este modo, al tratar la historia de la ingeniería sanitaria, tanto en lo que tiene de ingeniería civil como lo que incorporará de la ingeniería ambiental, se presentará –tentativamente– una propuesta de estructura que también contribuye a explicar la evolución y conformación de la ingeniería sanitaria hasta la actualidad.

El segundo apartado, sobre la ingeniería sanitaria y ambiental del siglo XXI, arranca de un continuo de tradición ingenieril presentado a través de los antecedentes para exponer, de una forma muy simplificada, sobre la ingeniería sanitaria y ambiental (como *explicandum*): su definición, objeto y demarcación; sus componentes, funciones y orientaciones; y sus marcos, tendencias y retos. En el siguiente apartado, una vez presentado el *explicandum*, se expone lo que sería el panorama de reflexiones filosóficas sobre ingeniería, ingeniería civil, ingeniería ambiental e ingeniería sanitaria; incluyendo algunos conceptos importantes de la ingeniería sanitaria y ambiental que forman parte de otras actividades que sí han sido objeto de una mayor reflexión filosófica (salud pública, urbanismo, microbiología y ecología, economía ambiental y economía del desarrollo).

Para concluir este capítulo, se plantea la oportunidad y pertinencia de una elucidación filosófica sistemista, de acuerdo al modelo Bunge-Quintanilla que se ha aplicado a la ingeniería en general, pero ahora aplicado, como *explicatum*, al caso de la ingeniería ambiental sanitaria.

6.1 LA INGENIERÍA SANITARIA COMO *EXPLICANDUM*: ANTECEDENTES (S. XIX-XX)

En este apartado de antecedentes (hasta finales del siglo XX) se presenta información básica sobre la ingeniería sanitaria. Una información que representaría la práctica ordinaria (concepción ‘ingenua’) de la actividad, con su caracterización común, su origen histórico y las áreas de actividad con que suele corresponderse, además de un conjunto de conceptos que pueden considerarse característicos y propios de la actividad. Se trata de una referencia a esta actividad ingenieril pre-elucidada. Una actividad que refiero a su desarrollo en el ámbito geográfico de Europa occidental y Norteamérica, y por tanto al campo que se consolida en estos territorios.

Además de ello, incluyo en este apartado un conjunto de referencias documentales (manuales profesionales y libros de texto universitarios) destacables sobre ingeniería sanitaria, tanto durante la época tradicional de esta ingeniería (hasta la década de los setenta), como durante la época posterior que denomino de la ingeniería sanitaria ‘expandida’ o ecológica. Una época que coincidiría con la transformación de la denominación de ‘ingeniería sanitaria’ hacia la de ‘ingeniería sanitaria y ambiental’, o simplemente de ‘ingeniería ambiental’ cuando se está en el marco disciplinar de la ingeniería civil.

Al destacar de entre toda la literatura técnica los manuales y textos, estoy asumiendo que estos son los testigos del desarrollo (y continuidad) de la comunidad docente ingenieril. Estos textos de referencia construirían, por así decirlo, la columna vertebral de la tradición profesional de la ingeniería sanitaria, desde la década de los setenta del siglo XIX en que se forma como disciplina, hasta la actualidad. Una tradición ingenieril que está asociada con el ámbito geográfico de Europa occidental y Norteamérica, ya que en el desarrollo de esta actividad durante el XIX confluyen corrientes procedentes de Francia, Alemania, y Gran Bretaña, de donde saltan a los Estados Unidos de América.

6.1.1 Marco y ámbito tradicional de la ingeniería sanitaria

Las actividades humanas como la ciencia, la tecnología y la ingeniería, en donde el conocimiento es un elemento esencial, están en permanente cambio, derivado de la progresión en el estado del conocimiento teórico y práctico. Un cambio que se presenta también como una inestabilidad en los contenidos y límites entre disciplinas, lo que puede favorecer además la progresión del conocimiento⁴³⁵. Pero, además, el estado en cada momento de la actividad – en este caso de la ingeniería sanitaria– depende del ejercicio profesional, de intereses corporativos, o de la formalización académica de las titulaciones; cuestiones que a su vez dependen de condicionantes históricos, culturales y geográficos. De ese permanente cambio viene el hecho de que actividades humanas como la ciencia, la tecnología y la ingeniería no siempre estén definidas y demarcadas con la suficiente claridad y precisión.

La ingeniería sanitaria, como actividad intensiva en conocimiento y de naturaleza profesional, tiene un historial de siglos, aunque para centrar el ámbito voy a hablar de la ingeniería sanitaria como actividad profesionalizada moderna que arranca –ni siquiera todavía con ese nombre– hacia mediados del siglo XVIII, con la emergencia (en Francia, Alemania e

⁴³⁵ Es conocido que cuando Rudolf Carnap, quien se inicia académicamente desde la física, renueva después de la I Guerra Mundial su proyecto doctoral, se encuentra con que sus investigaciones sobre un sistema axiomático para la teoría física del espacio y el tiempo quedan en la línea del campo que entonces separa la física de la filosofía: para Max Wien, director del Instituto de Física de la Universidad de Jena, el trabajo de Carnap sería pertinente para la filosofía, no para la física; en cambio Bruno Bauch, su profesor de filosofía, diría que su trabajo era relevante para la física. Finalmente, tanto la tesis como los trabajos de Carnap, fertilizarán el nuevo campo de la filosofía de la ciencia.

Inglaterra) de las instituciones académicas y profesionales que van a configurar las modernas comunidades, tanto científicas como ingenieriles.

En este tipo de casos, como el que considero de la ingeniería sanitaria, la mayor o menor claridad y precisión original se encuentra condicionada por el desarrollo –terminológico y de contenidos– temporal y espacial de la disciplina. Esta inexactitud originaria junto con la deriva geográfica e histórica, puede aconsejar una dinámica permanente de esclarecimiento, de elucidación terminológica y conceptual, así como del orden taxonómico en que se englobaría la ingeniería sanitaria.

El término ‘ingeniería sanitaria’ (*sanitary engineering*) aparece en la década de los setenta del siglo XIX. En ese momento, la ingeniería sanitaria ya ha empezado a desarrollarse como disciplina, en respuesta a las demandas de expertos (fundamentalmente desde la ingeniería civil) en saneamiento, abastecimiento de agua y drenaje; hacia 1880 el término ya se habría hecho conocido en el mundo ingenieril.

Así, a finales del siglo XIX es el período en que puede datarse el nacimiento de la ingeniería sanitaria como una disciplina de la ingeniería civil que reúne enfoques y aspectos de la higiene y salud pública, de la ingeniería civil en formación, y del urbanismo. Los conceptos médico-sanitarios son muy relevantes para la configuración de la ingeniería sanitaria, de ahí que el cambio de paradigma desde la teoría miasmática a la teoría microbiológica producido durante el siglo XIX, tenga su correlato en la transformación de cuestiones ontológicas, epistemológicas, metodológicas y axiológicas de la ingeniería sanitaria. Además de en aspectos económicos y sociales de primera magnitud.

La ingeniería sanitaria reúne un conjunto de actuaciones de obras públicas destinadas a poner en marcha servicios de abastecimiento de agua, de saneamiento y depuración de aguas residuales, y de recogida, tratamiento y eliminación de basuras. Por extensión, también se incluyen actividades de protección de la calidad atmosférica, o de los suelos afectados por residuos, problemas que están asociados a áreas intensamente urbanizadas.

En este sentido, puede considerarse que la ingeniería sanitaria sería un área de especialización de la ingeniería civil que, desde su desarrollo en el siglo XIX, tiene como objeto principal el diseño, construcción y operación de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y depuración de aguas residuales, así como la gestión de los residuos sólidos. Es una ingeniería que ocupa un espacio muy próximo a las necesidades básicas del ser humano (en términos de salud pública) y su inmediata relación con el medio ambiente en términos de lo que se entiende como calidad ambiental.

Esta tradicional vinculación entre la salud pública y la ingeniería sanitaria se observa, por ejemplo, en la fundación (1948) de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS), que se constituye siete días después de la creación de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La terminología empleada para la actividad que englobo provisionalmente como ingeniería sanitaria se viene denominando: ingeniería sanitaria (*sanitary engineering*) (Metcalf-Eddy⁴³⁶, 1985, 1994; Webster⁴³⁷, 1997); ingeniería ambiental (*environmental engineering*) (Peavy *et al.*, 1985; BSI, 1993; Kiely, 1999⁴³⁸); e ingeniería medioambiental (Seoáñez, 1999; Martínez-Val, 2000).

⁴³⁶ Metcalf-Eddy (1985): *Ingeniería Sanitaria. Redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales*, Barcelona: Labor (ed. original *Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater*, McGraw-Hill, Inc. 1981)

⁴³⁷ Webster, L.F. (1997): *The Wiley Dictionary of Civil Engineering and Construction*, Ed. Wiley, Nueva York, 666 pp.

⁴³⁸ Kiely, Gerard (1999): *Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*, McGraw-Hill.

De igual modo, el alcance y tipo de la actividad varía ampliamente. En el glosario de *British Standard Institution* (BSI) (1993)⁴³⁹ en la parte 2, sobre ingeniería civil, recoge la sección 2.7 *Public Health. Environmental engineering*. Esta sección incluye terminología correspondiente a: residuos sólidos, residuos líquidos, abastecimiento de aguas, contaminación y olores; e incluye, junto a otros, el término ‘*contaminated land*’, terrenos contaminados. Esto significa que, aunque no se hace referencia al término ‘sanitaria’, encabeza con ‘salud pública’ el subapartado de ingeniería ambiental, que sería asimilable a los contenidos de la ingeniería sanitaria tradicional.

En Metcalf-Eddy (1985): “La ingeniería sanitaria es la rama de la ingeniería del medio ambiente que aplica los principios básicos de la ciencia y la ingeniería al control de la contaminación del agua. El fin último del control de las aguas residuales es la protección del medio ambiente con arreglo a las posibilidades económicas e intereses sociales y políticos” (Metcalf-Eddy, 1985: 10). Este parece ser un caso en que a la imprecisión terminológica se suma una imprecisión en la traducción⁴⁴⁰, un hecho que probablemente sea el causante de no pocas confusiones adicionales.

En Peavy *et al.* (1985), se define la ingeniería ambiental como: “rama de la ingeniería que se ocupa de la protección del ambiente de los efectos potencialmente dañinos de la actividad humana, proteger a las poblaciones humanas de los factores ambientales adversos y mejorar la calidad ambiental para la salud y el bienestar humanos”⁴⁴¹, una propuesta que parece claramente apropiada para ‘ingeniería sanitaria’. Mientras que el Webster (1997: 498) define la ingeniería sanitaria como: “responsabilidad profesional para el diseño y mantenimiento de instalaciones para el suministro de agua potable y la recogida y tratamiento de residuos líquidos y sólidos.”

Se observa que, tanto la denominación de ingeniería sanitaria (con su variante ‘ingeniería ambiental’ que responde a tradiciones geográficas o culturales), como su definición y contenidos, presenta una cierta inestabilidad e imprecisión en las décadas finales del siglo XX.

En cuanto a la clasificación de la actividad de la ingeniería sanitaria, a su ubicación en un marco clasificatorio, se encuentran divergencias e inconsistencias. El tratamiento de la ingeniería sanitaria en distintas clasificaciones (CDU documental, UNESCO de ciencia y tecnología, académicas) es ciertamente desigual.

En la Clasificación Decimal Universal (CDU) la ingeniería sanitaria está recogida con la numeración “628: Ingeniería sanitaria. Agua. Saneamiento. Ingeniería de la iluminación. Higiene urbana (desechos)”. Queda incluida por tanto en el campo “62: Ingeniería. Tecnología”, y a su vez en el “6: Ciencias aplicadas. Medicina. Tecnología”. Es mencionable que en un orden similar “624: Ingeniería civil y de la construcción en general” se encuentre una de las subdivisiones mayores como es la ingeniería civil, dentro de la cual está claramente enclavada la actividad de la ingeniería sanitaria.

Respecto a su clasificación UNESCO, señalar el hecho de que la ingeniería sanitaria tiene carácter tecnológico interdisciplinar, estando participada mayoritariamente por dos tecnologías pertenecientes a las Ciencias Tecnológicas (de acuerdo con la clasificación

⁴³⁹ British Standard Institution (BSI) (1993): *Glossary of Building and Civil Engineering Terms*, Oxford: Blackwell Scientific Publications, pp. 335-348.

⁴⁴⁰ En este caso, la reducción de la ingeniería sanitaria sólo al control de la contaminación de las aguas puede ser debido a un problema en la traducción del original en inglés. De hecho, el texto original de Metcalf-Eddy, de 1981, se titula *Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater*. Este es un ejemplo de cómo a la confusión terminológica se le suma la de una traducción excesivamente libre, puesto que ‘wastewater engineering’ no sería propiamente ‘ingeniería sanitaria’, sino ‘ingeniería de aguas residuales’.

⁴⁴¹ Peavy, H.S., D.R. Rowe and G. Tchobanoglous (1985): *Environmental Engineering*, New York: McGraw-Hill.

numeral de UNESCO): en primer lugar, la ingeniería y tecnología del medio ambiente (3308); y, en segundo lugar, la tecnología de la construcción (3305).

Cuando se baja al nivel de subdisciplina, que sería el de especialidades tecnológicas de acuerdo con la nomenclatura UNESCO, se observa que la ingeniería ambiental sanitaria acentúa aún más ese carácter interdisciplinar. Las especialidades técnicas involucradas en el corpus de la ingeniería sanitaria serían al menos: ingeniería sanitaria (330809); alcantarillado y depuración de aguas (330530); abastecimiento de aguas (330538); tecnología de aguas residuales (330810); ingeniería de la contaminación (330804) eliminación de residuos (330807); control de la contaminación atmosférica (330801); y control de la contaminación del agua (330811). La proximidad entre las denominaciones de ingeniería y tecnología se observa en la que elige la UNESCO cuando nombra la disciplina tecnológica 3308 precisamente como “ingeniería y tecnología del medio ambiente”.

6.1.2 Autores y textos fundacionales de la ingeniería sanitaria

En este apartado voy a empezar con un relatorio de los textos fundamentales de la ingeniería sanitaria ‘tradicional’, una denominación informal con la que me refiero al discurrir profesional desde finales del siglo XIX, en que esta disciplina ingenieril ya está constituida, hasta la década de los setenta del siglo XX, cuando se produce la transformación y expansión de la ingeniería civil sanitaria hacia la ingeniería civil y ambiental sanitaria.

En el año 1873, en Londres, el ingeniero civil (y meteorólogo) Baldwin Latham publica la obra *Sanitary Engineering. A guide to the construction of Works of Sewerage and House Drainage*⁴⁴², que fue considerado un clásico en la materia desde ese momento. Es una obra en la que el título responde bien a los objetivos del autor, ya que se trata de un manual de construcción, con un formato y contenidos de carácter tecnológico, orientados al estudio, diseño y ejecución de obras de saneamiento de las aguas residuales. Los capítulos iniciales, si bien muy breves, responden a una metodología secuencial de investigación ingenieril: área y planes del distrito que va a sanearse; precipitaciones en la zona y el agua de lluvia que se admitirá en el saneamiento; características geológicas y físicas de la zona; habitantes actuales y perspectivas de crecimiento; abastecimiento de agua en la zona; instalaciones sanitarias existentes o que deben incorporarse; y punto de vertido de las aguas residuales. A continuación, la parte más importante de la obra, se dedica a cálculos hidráulicos y especificaciones técnicas de las instalaciones, dispositivos y materiales.

Pocos años después, en 1877, el también ingeniero civil británico, John Bailey Denton publica, tras una larga serie de obras de ingeniería civil, su *Sanitary Engineering*⁴⁴³, un libro recopilatorio del ciclo de conferencias dictadas en 1876 en la School of Military Engineering de Chatham. La obra de Denton presenta una singular distribución en cinco grandes divisiones que tratan de forma exhaustiva (cuantitativa y cualitativa) los aspectos sobre: aire (calidad, cantidad, contaminantes, malaria⁴⁴⁴, papel de la ingeniería, humedad del suelo); agua (calidad, contaminación, precipitación, infiltración, escorrentía); vivienda (drenaje, suelos,

⁴⁴² Latham, B. (1873): *Sanitary Engineering. A guide to the construction of Works of Sewerage and House Drainage with Tables for Facilitating the Calculations of the Engineer*, (Ed. 1884, New York: Engineering News Pub., 56 pp.)

⁴⁴³ Denton, J.B. (1877): *Sanitary Engineering*, London: F.N. Spon, 429 pp.

⁴⁴⁴ Cuando Denton incluye un apartado sobre ‘malaria’ en la división que trata sobre el aire, pone de manifiesto expresamente la vigencia del paradigma de la ‘teoría miasmática’: “Se han hecho muchos experimentos para determinar la naturaleza precisa de la miasma. Uno se llevó a cabo en Italia recogiendo una mezcla de aire en las proximidades de zonas pantanosas que se conoce que tienen malaria, y depositando la mezcla en las superficies de botellas con hielo. Cuando se condensaron estas muestras se observó que tenían sustancias nitrogenadas, que se pudrieron y pronto presentaron animáculos”. Denton, 1877: 10.

saneamiento, tratamiento de residuales, dispositivos sanitarios,); ciudades y pueblos (aguas pluviales y residuales, saneamiento, dispositivos hidráulicos); tratamiento y vertido de las aguas residuales de poblaciones (clasificación, tipos de tratamiento).

Esta obra puede considerarse de tipo mixto (o incluso transicional) puesto que presenta una triple combinación de lenguaje. En primer lugar, en las divisiones que tratan sobre el aire y el agua, responde a un modelo de lenguaje científico, de tipo químico-médico (apoyado en descripciones, parámetros y tablas). A continuación, pasa, en las divisiones de vivienda, y de ciudades y pueblos, a un lenguaje más tecnológico, más ingenieril, apoyado además en planos e ilustraciones, diagramas, figuras, con referencias a métodos, materiales e instalaciones. Finalmente, en la división dedicada al tratamiento y vertido de aguas residuales, despliega recursos propios de un moderno método ingenieril de diseño tecnológico, valorando técnicas y aportando criterios de diseño.

En Norteamérica se debe a Edward S. Philbrick (1881) uno de los primeros libros de texto sobre la ingeniería sanitaria: *American Sanitary Engineering*⁴⁴⁵. Como señala el autor en el prefacio, los contenidos corresponden a una serie de conferencias dictadas en la School of Industrial Science del Massachusetts Institute of Technology (MIT) de Boston⁴⁴⁶. El libro consta de doce capítulos, con un modelo de texto eminentemente práctico, acompañando de tablas, gráficos y figuras detallados. La temática está orientada a la ventilación de edificios (en relación con la calidad del aire) a la que dedica dos capítulos, y el resto se centra en el drenaje, empezando por el drenaje urbano (donde incluye otros dos capítulos sobre ventilación de alcantarillas) y descendiendo en detalle al drenaje de las casas, hasta llegar a los aparatos domésticos usados para tal fin. La temática y el tratamiento permiten afirmar que el enfoque de esta ingeniería sanitaria (en cierta manera también arquitectónica), aunque indudablemente entroncada con la ingeniería civil, aún no está reflejando las teorías microbiológicas, sino que se orienta a apartar de la forma más eficaz posible de las zonas de habitación humano, tanto los residuos corporales (gases de respiración y excrementos) como las emanaciones insalubres procedentes de otras actividades domésticas.

En 1898, el ingeniero civil Paul Gerhard publica en Nueva York el libro *Sanitary Engineering*⁴⁴⁷ y al año siguiente *Sanitary Engineering of Buildings*⁴⁴⁸, una obra que consolida ya a comienzos del siglo XX en *Sanitation and Sanitary Engineering* (1909), que pronto se convierte en una referencia clásica del ámbito norteamericano sobre el saneamiento y la ingeniería sanitaria, siendo probablemente una de las primeras obras que reúne una visión completa de las cuestiones en que interviene esta disciplina. La obra⁴⁴⁹ de Gerhard, quien se describe como asistente y discípulo de G.E. Waring, puede dividirse en cuatro partes. La primera, que coincide con el capítulo I, describe la profesión y la práctica de la ingeniería sanitaria a modo de ‘estado de la cuestión’ a principios del siglo XX, tratando con detalle el origen y posición de la ingeniería sanitaria, así como su ámbito disciplinar fundamental: abastecimiento de agua, saneamiento, prevención de la contaminación en ríos, vertido de efluentes residuales, pavimentación y limpieza de calles, y recogida y depósito de basuras.

La segunda parte de la obra (capítulo II) trata sobre los trabajos de la ingeniería sanitaria en tiempos de epidemias, en tiempos de guerra y ante repentinas calamidades en la vida civil.

⁴⁴⁵ Philbrick, E.S. (1881): *American Sanitary Engineering*, New York: The Sanitary Engineering, 123 pp.

⁴⁴⁶ El autor señala que parte de esas conferencias también han sido publicadas en la revista *The Sanitary Engineer*, una revista que muestra el interés de una comunidad, ya suficientemente numerosa, por las novedades y conocimiento técnico de la ingeniería sanitaria.

⁴⁴⁷ Gerhard, P. (1898): *Sanitary Engineering*, New York, 132 pp.

⁴⁴⁸ Gerhard, P. (1899): *Sanitary Engineering of Buildings*, New York, W.T. Comstock, 454 pp.

⁴⁴⁹ Gerhard, P. (1909): *Sanitation and Sanitary Engineering*, New York, 175 pp.

Se trataría del enfoque de la ingeniería sanitaria ante situaciones excepcionales, tanto de origen natural como genuinamente antrópicas; lo que pone de manifiesto que la actividad ingenieril sanitaria ya presupone entonces la necesidad de tratar de forma diferente las situaciones ordinarias de las extraordinarias. La parte tercera (capítulo III) está dedicada a lo que sería una revisión histórica de la ingeniería sanitaria entre los años 1850 y 1900, lo que se convierte en un interesante estudio histórico del siglo XIX hecho desde la proximidad de los principios del siglo XX. La cuarta parte que he considerado (capítulos IV y V) del libro de Gerhard describe, como casos, el saneamiento del Nueva York metropolitano y –casi como una curiosidad en este punto– el saneamiento en Rusia.

En 1914 se publica la primera edición de una obra en tres volúmenes sobre alcantarillado y aguas residuales, que se va a convertir en una referencia internacional sobre la teoría y práctica ingeniería del alcantarillado y el saneamiento⁴⁵⁰. Los autores son los norteamericanos Leonard Metcalf y Harrison P. Eddy. La obra se compone por un primer volumen dedicado al diseño de alcantarillas, un segundo volumen a la construcción de las alcantarillas, y un tercero a la eliminación de las aguas residuales. La obra de Metcalf y Eddy pone de manifiesto, respecto a publicaciones anteriores, un profundo cambio en el formato, contenidos, lenguaje y objetivos del texto.

Un cambio que va a observarse en los manuales y textos de ingeniería sanitaria (así como otras disciplinas ingenieriles), por el que los textos son más especializados, se concentran más en las cuestiones del diseño y la construcción, se hacen más detallados y precisos (tanto en el lenguaje como en el empleo de tablas y gráficas) e indudablemente más extensos, como corresponde al avance de los conocimientos. Siguiendo el caso de la obra de Metcalf y Eddy, el volumen 1, dedicado exclusivamente al diseño de alcantarillado, alcanza en su segunda edición (1928) dieciocho capítulos⁴⁵¹, con más de setecientos cincuenta páginas y más de trescientas ilustraciones. La estructura y contenidos de este libro marcarán la pauta durante décadas para los textos de ingeniería sanitaria referidos al saneamiento y depuración de aguas residuales.

En la primera mitad del siglo pasado, en el escenario local (España) con autores como Sonier (1919), Escario (1940) o Paz Maroto (1946), aparecen publicaciones que son traducciones y adaptaciones (derivadas de la influencia tecnológica anglosajona y continental), junto con trabajos propios de las experiencias en ámbitos regionales o nacionales.

Siguiendo con este apartado, incluyo la nómina más destacable de autores y textos referenciales de lo que puede denominarse informalmente como ingeniería sanitaria ‘expandida’, comenzando en la década de los setenta, cuando se produce la transformación y expansión de la ingeniería civil sanitaria hacia la ingeniería ambiental. Una transformación que gravita en la década de los años ochenta. Con los libros de referencia editados en castellano: *Ingeniería sanitaria: Redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales*, de Metcalf & Eddy, Inc. (1985); Peavy, H.S., D.R. Rowe and G. Tchobanoglous (1985):

⁴⁵⁰ Metcalf, L. & Eddy, H.P. (1914): *American Sewerage Practice. Vol. 1. Design of Sewers. Vol. 2. Construction of Sewers. Vol. 3. Disposal of Sewage*. New York: McGraw-Hill.

⁴⁵¹ Capítulos de Metcalf & Eddy (1928): 1) Disposición general de los sistemas de alcantarillado; 2) Hidráulica: Flujo de agua y aguas residuales, 3) Velocidades y gradientes, 4) Medición de flujos de agua, 5) Cantidad de aguas residuales, 6) Alcantarillas separadas, 7) Precipitación, 8) Escorrentía de aguas de tormenta, 9) Colectores de aguas pluviales y alcantarillas combinadas, 10) Aforo de flujo de aguas pluviales en alcantarillas, 11) Tuberías de alcantarillado, 12) Alcantarillas de albañilería, 13) Cargas en las alcantarillas, 14) Análisis de las tensiones en las secciones de alcantarillado, 15) Entradas, sumideros y pozos de registro, 16) Cruces, puentes y sifones, dispositivos de descarga, 17) Reguladores, aliviaderos, compuertas de marea y ventilación, 18) Bombas y estaciones de bombeo.

Environmental Engineering, McGraw-Hill, New York; o Metcalf-Eddy (1994): *Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*, Ed. Labor, Barcelona, 1994. (Traducido de edición original: *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*; McGraw-Hill, Inc., 1979).

A finales de la década de los noventa del siglo pasado, lo que representaría el estado del conocimiento acumulado a finales del siglo XX, pueden destacarse las obras editadas en castellano: *Gestión integral de residuos sólidos*, de G. Tchobanoglous y G.H. Theisen (1994); *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización* (3ª ed.) de Metcalf & Eddy, Inc. (1995); *Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública*⁴⁵² de Unda y Salinas (1999); *Ingeniería ambiental. Fundamentos. Entornos. Tecnologías y sistemas de gestión (vol. 1)*⁴⁵³ de Gerard Kiely (1999); e *Ingeniería ambiental*, de H.J. Glynn y G.W. Heinke (1999).

6.1.3 Documentación para una historiografía sobre ingeniería sanitaria

En esta fase de explicitación del *explicandum* a ser elucidado, se plantea la historiografía de la ingeniería sanitaria, como un registro de documentos datables que permiten un registro de acontecimientos en orden de sucesión de su databilidad. Este apartado sirve al objetivo de disponer de una serie suficientemente completa de los acontecimientos documentados de la historia de la ingeniería sanitaria de cara a la posterior interpretación en términos de una secuencia que puede responder a la dinámica y fundamentos de una teoría de la acción.

En las fases subsiguientes de elucidación, se plantea transformar esta crónica documental, incluyendo la historia de la historia de las materias relacionadas con la ingeniería sanitaria, en una forma de establecer un marco teórico de relaciones, en un paso semejante al que sugiere Blumenberg: “cuando la historiografía pasó de registrar simplemente de un modo cronológico la cadena de sucesos a mostrar las vinculaciones entre los eslabones de esa cadena, se hizo patente enseguida que las acciones humanas son explicables mediante teorías de la acción que podrían ser referidas a ellas.”⁴⁵⁴

Conviene recordar que la ingeniería sanitaria aparece históricamente como la aplicación de la ingeniería civil a resolver problemas sanitarios, así como a la prevención de las causas de enfermedades que producían grandes estragos entre la población, es decir, las epidemias. Enfermedades que han sido principalmente, bien directa o indirectamente, de transmisión hídrica⁴⁵⁵. De aquí la gran importancia que ha tenido y tiene todo lo relacionado con el agua, y por lo tanto la importancia, desde sus albores, de conocimientos como la química⁴⁵⁶, la biología y de la hidráulica en la ingeniería sanitaria.

La ingeniería sanitaria se conforma entonces como la combinación de las operaciones propias de la ingeniería civil enfocadas a la resolución de problemas que afectan a la higiene o salud pública. Por lo tanto, los antecedentes hay que buscarlos en ese espacio de convergencia. Así, pueden encontrarse a lo largo de la historia del ser humano numerosas obras o realizaciones⁴⁵⁷ que actualmente podrían denominarse obras de ingeniería sanitaria⁴⁵⁸.

⁴⁵² Unda, F. & Salinas, S.M. (1999): *Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública*, México: Limusa.

⁴⁵³ Kiely, G. (1999): *Ingeniería ambiental. Fundamentos. Entornos. Tecnologías y sistemas de gestión*, McGraw-Hill.

⁴⁵⁴ Blumenberg, H. (1966): “Algunas dificultades de escribir una historia del espíritu de la técnica”, pp. 9-51 en *Historia del Espíritu de la Técnica* (Ed. Pre-textos), p. 9.

⁴⁵⁵ Cfr. Tejero, I. y Suárez, J. (2004): *Ingeniería sanitaria y ambiental*, Santander: Universidad de Cantabria.

⁴⁵⁶ Esta concurrencia de conocimientos científicos y técnicos convocó en la ingeniería sanitaria, desde su origen, a prestigiosos personajes con amplios intereses tecno-científicos, como es el caso de Lavoisier, quien tuvo un papel clave para el abastecimiento de agua a la ciudad de París a finales del siglo XVIII.

⁴⁵⁷ Resulta frecuente que los manuales de ingeniería sanitaria hagan una suerte de recorrido histórico por algunos “hitos tecnológicos” que jalonan la historia. Este tipo de recorridos suelen ser enumerativos y descriptivos de eventos o de obras,

En una etapa temprana, la ingeniería de higiene se dirige al entorno más próximo del ser humano que se está aglomerando (vivienda, trabajo, ciudad)⁴⁵⁹ para preservar su salud, intentando prever las consecuencias de sus acciones y de la actividad humana en general, sobre dicho ambiente. En definitiva, intenta crear un ambiente artificialmente protegido donde vivir sin que sus propios residuos le sean perjudiciales.

La visión histórica de la ingeniería sanitaria lleva a enfrentarla en diferentes etapas: el surgimiento de la ingeniería sanitaria y su encuadre como materia de la ingeniería civil; la ingeniería de saneamiento urbano en el período de la teoría miasmática (hasta último cuarto del siglo XIX); la revolución bacteriológica en la ingeniería sanitaria (desde finales del siglo XIX); el desarrollo y avances de la ingeniería civil sanitaria en la primera mitad del siglo XX; la conformación de la ingeniería ambiental y el giro ecológico de la ingeniería civil sanitaria (desde los 70s del siglo XX); y la nueva ingeniería civil y ambiental sanitaria.

La historia de la ingeniería sanitaria se ha entendido como una historia particular (o particularizada) de la historia de la ingeniería civil. El período que considero para el análisis, tanto de la ingeniería civil como de la ingeniería sanitaria, parte de mediados del siglo XVIII, aunque ese período tiene un escaso registro específico.

Considero como fuentes primarias para una historia de la ingeniería civil sanitaria todas aquellas fuentes documentales que pueden informar directamente del estado del conocimiento y de la práctica de esta actividad ingenieril. A pesar de que la ingeniería sanitaria no existe como tal⁴⁶⁰ hasta avanzada la segunda mitad del siglo XIX, existe actividad ingenieril – fundamentalmente asignada a la ingeniería civil– que está ya trabajando, bajo un modelo de conocimiento y operativo tecnológico, sobre diversas cuestiones del saneamiento, ya claramente desde principios del siglo XVIII. Por esta razón, comienzo con el relatorio de fuentes primarias desde este momento, hasta finales del siglo XX.

Hay un conjunto de referencias documentales (en manuales y libros de texto) sobre la ingeniería sanitaria, desde finales del siglo XIX hasta finales del siglo XX, que ya he tratado en detalle en el apartado anterior, por lo que en éste me limitaré, allí donde corresponda cronológicamente, a hacer una breve referencia.

El libro *An Elementary Course of Civil Engineering* (1838), redactado por Dennis Hart Mahan después de su estancia formativa en París, será durante décadas el libro de referencia en la ingeniería civil norteamericana. La obra de Mahan puede considerarse como una completa visión del ‘estado del arte’, internacional y colectivo⁴⁶¹, de la ingeniería civil en Norteamérica (y por inclusión europea) durante la primera mitad del siglo XIX. El índice de contenidos de este curso elemental de ingeniería civil muestra el enfoque y campo de

como puede verse en Rodríguez Miranda, J.P., “Aspectos históricos del desarrollo de la ingeniería sanitaria y ambiental en el ámbito local, regional y mundial”, 2010.

⁴⁵⁸ No obstante las referencias variadas de ejemplos notables de obras de ingeniería civil sanitaria, he desarrollado la investigación histórica desde mediados del siglo XVIII, cuando viene a iniciarse la formación de la moderna disciplina de ingeniería civil y la sanitaria como especialización.

⁴⁵⁹ Puede verse, por ejemplo, el trabajo de Buj (2003) “La vivienda salubre, el saneamiento de poblaciones”, que se refiere a las aportaciones de la ingeniería sanitaria española a principios del siglo XX como medida defensiva ante los problemas derivados de la aglomeración urbana, y como complemento de las nuevas técnicas que se incorporan a los ámbitos urbanos: lámpara eléctrica, fonógrafo, ascensor, teléfono, o calefacción. Ref. Buj, A., “Las vivienda salubre. El saneamiento de poblaciones (1908) en la obra del ingeniero militar Eduardo Gallego Ramos”, *Scripta Nova, Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, Vol. VII, núm. 146(012), 1 de agosto de 2003, 15 pp.

⁴⁶⁰ Nota: hasta el momento, la primera referencia a la ingeniería sanitaria, con esta denominación, sería la de Latham (1873).

⁴⁶¹ En el prefacio del libro, Mahan señala cómo los conocimientos en general no son de su autoría sino que ha recopilado la información disponible, tanto oral como escrita. Este comportamiento denota, desde el principio, una característica propia de la literatura técnica ingenieril que se muestra como parte de una corriente de conocimientos y prácticas establecidas colectivamente pero en las que, al contrario que en la literatura científica, raramente aparecen referencias a autores concretos.

actividades que caracteriza el período inicial de esta ingeniería: el capítulo 1 se dedica a la descripción de los materiales de uso constructivo (piedras naturales y rocas, piedras artificiales y cemento, madera, y metales); el capítulo 2 trata muy brevemente sobre la resistencia de materiales⁴⁶²; los capítulos 3 y 4 se dedican a técnicas constructivas, albañilería y carpintería, respectivamente; los capítulos siguientes tratan de tipos de obras como carreteras (cap. 5), puentes (cap. 6), ferrocarriles (cap. 7), y canales (cap. 8); y los dos capítulos finales se dedican a los ríos (cap. 9) y a actuaciones en la costa como puertos y diques (cap. 10). Si algo puede destacarse de forma especial en este libro, es la ausencia de capítulos destinados a las obras de la ingeniería de higiene y saneamiento de poblaciones.

El conocido como *Sanitary Report* (1842) de Edwin Chadwick es un hito documental⁴⁶³ en la historia del higienismo del siglo XIX, y también una cita ubicua en los estudios históricos de la ingeniería municipal, sanitaria o urbanística. Sin embargo, puede dar a veces la impresión de que este importante informe, tanto por sus contenidos como por su metodología, ha sido –como otros clásicos– más citado que leído⁴⁶⁴. El texto del informe está enriquecido con una serie de apéndices técnicos de un extraordinario interés para conocer la práctica de la ingeniería, puesto que reproducen detalladas entrevistas que Chadwick realiza a ingenieros y operadores de servicios sanitarios como son el alcantarillado, limpieza y la recogida de las basuras.

Posteriormente, la *Health of Towns Commission*, elaboraría dos informes, en 1844 y 1845, como ampliación del informe Chadwick. Estos documentos, más centrados en las ciudades que en los trabajadores, desarrollaban hasta un nivel de detalle más ingenieril las cuestiones técnicas del *Sanitary Report*, incluyendo aspectos como: “el aprovisionamiento constante y a domicilio de agua a alta presión, las posibilidades de reciclaje de aguas residuales urbanas, o el modo de construcción de colectores y redes de alcantarillado –en cuanto a dimensiones, formas, pendientes y materiales– para lograr un rápido drenaje y una efectiva eliminación de desechos sólidos urbanos mediante corrientes regulares de agua, evitando en lo posible roturas, filtraciones, desbordamientos y bloqueos”⁴⁶⁵.

Esto hace que, en cierto modo pueda considerarse que tanto el *Sanitary Report* (1842) como estos dos más detallados, representen el estado de la cuestión (de la higiene y saneamiento urbano) en Gran Bretaña a mediados del siglo XIX. Puede sugerirse que, dado que estos trabajos se realizan en Gran Bretaña, y en gran medida sobre la ciudad de Londres, representarían el estado más avanzado, globalmente, del conocimiento y práctica ingenieril. Durante el siglo XIX, todo lo importante que ocurre, lo hace en el cuadrilátero que forman las ciudades de Londres, París, Berlín y Viena. De alguna manera, estas grandes ciudades se

⁴⁶² La forma ingenieril, más que científica, en que Mahan expone la resistencia de materiales en este temprano texto se ha considerado (cfr. Layton, 1971) como una de las pruebas históricas que atestiguan la existencia ya en la primera mitad del siglo XIX de una comunidad tecnológica norteamericana, equiparable a las comunidades científicas que se reconocen habitualmente; sirviendo como apoyo de la tesis de Layton (1971) sobre un modelo relacional ciencia-tecnología más equilibrado ya desde el s. XIX. (Véase Layton, E.T. (1971): “Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th-century America”, *Technology and Culture*, 12/4, October, pp. 562-80.)

⁴⁶³ Chadwick, E. (1842): *Report on an inquiry into sanitary condition of the labouring population of Great Britain*.

⁴⁶⁴ Hago esta afirmación por cuanto, no es que la información ingenieril del informe Chadwick apenas haya tenido algún tratamiento, sino que trabajos divulgativos de historia de la ingeniería sanitaria –a los que se supone un buen conocimiento documental– llegan a identificar a Edwin Chadwick como ‘ingeniero higienista’ (como ocurre, por ejemplo, en Ayto. de Barcelona, 1991 *Sota la ciutat*, p. 39), cuando es ampliamente conocido que su formación es jurídica; hasta el punto de que investigadores como Ramos (2014:13) señalen: “Resulta cuando menos llamativo que el auténtico impulsor del *sanitary movement* (1832-1854), Edwin Chadwick, fuera un hombre de formación jurídica y larga carrera en la administración pública, y no un médico o un ingeniero civil”.

⁴⁶⁵ Ramos Gorostiza, J.L. (2014): “Edwin Chadwick, el movimiento británico de salud pública y el higienismo español”, *Rev. de Historia Industrial*, nº 55, año XXIII, 2014.2, p. 22.

convierten en la referencia, también urbanística y de los servicios municipales, que seguirán muchas otras ciudades.

Como se observa, el movimiento sanitario británico de mediados del siglo XIX pone sobre la mesa una serie de problemáticas de salud pública y ambiental, que van a presionar a los agentes públicos para movilizar diferentes recursos, tanto legislativos, como económicos y técnicos. Algo semejante está ocurriendo en otros países de Europa y América. También en España los profesionales de salud pública y de ingeniería responden a esas demandas, generando una serie de informes y estudios que bien pueden considerarse como fuentes primarias del período decimonónico central. Un período en que los objetivos de la ingeniería del saneamiento aún están informados por el paradigma sanitario de la teoría miasmática (anticontagionista).

En orden cronológico, y para un abanico de temas relacionados, pueden destacarse las obras: de Mateo Seoane (1838) sobre estadística médica⁴⁶⁶; del doctor Pere Felip Monlau (1847) sobre elementos de higiene pública⁴⁶⁷; de Joaquim Font (1852) sobre las condiciones de trabajadores y de la salubridad urbana en Barcelona⁴⁶⁸; de Francisco Menéndez Álvaro (1853) sobre la higiene pública municipal⁴⁶⁹; también de Monlau (1856) sobre higiene industrial⁴⁷⁰; o la obra de Ildefonso Cerdá (1867) sobre teoría de la urbanización y aplicación de sus principios y doctrinas a la reforma y ensanche urbano de Barcelona⁴⁷¹. Autores y obras que son algunas de las referencias esenciales⁴⁷² en la historia de la salud pública e ingeniería sanitaria, del higienismo español de mediados del siglo XIX.

Desde una perspectiva más tecnológica, el movimiento sanitario va generando desde mediados del siglo XIX una literatura técnica, elaborada desde el enfoque dominante de la ingeniería civil, en donde sobresalen autores como el ingeniero civil escocés William Rankine o John Bailey Denton, ingeniero civil británico⁴⁷³.

W.J.M. Rankine publicará una serie de obras fundamentalmente sobre ingeniería mecánica, y otras sobre ingeniería civil, entre las que destaca su manual de ingeniería civil⁴⁷⁴, publicado en 1862. Una obra dividida en tres partes. La primera trata las ramas de operaciones ingenieriles que dependen de los principios geométricos (topografía, nivelado y replanteo de obras). La segunda sobre las propiedades de los materiales empleados en las obras de ingeniería. La tercera trata sobre las estructuras combinadas que forman parte de tipos de obras como carreteras, ferrocarriles, mejoras fluviales, obras hidráulicas, canales, defensas marítimas y puertos.

⁴⁶⁶ Seoane, M. (1838): *Consideraciones generales sobre la estadística médica* (en: López Piñeiro, J.M. (ed). *Mateo Seoane y la introducción en España del sistema sanitario liberal*, Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo, pp. 187-212).

⁴⁶⁷ Monlau, P.F. (1847): *Elementos de Higiene Pública*, Barcelona: Imprenta Pablo Riera.

⁴⁶⁸ Font, J. (1852): *Consideraciones sobre los inconvenientes que irrojan a la salud de los jornaleros y a la pública de Barcelona las fábricas, y en especial las de vapor*, Barcelona: Imp. T. Gorchs.

⁴⁶⁹ Méndez Álvaro, F. (1853): *Consideraciones sobre la higiene pública y mejoras que reclama en España la higiene municipal*. (en *Francisco Méndez Álvaro (1806-1883) y las ideas sanitarias del liberalismo moderno*, ed. J.L. Fresquet, Madrid: Ministerio de Salud y Consumo, 1990).

⁴⁷⁰ Monlau, P.F. (1856): *Higiene industrial: ¿qué medidas puede dictar el gobierno a favor de las clases obreras*. (en: Jutglar, A. (ed). *Condiciones de vida y trabajo obrero en España a mediados del siglo XIX*, Barcelona: Anthropos.

⁴⁷¹ Cerdá, I. (1867): *Teoría general de la urbanización y aplicación de sus principios y doctrinas a la reforma y ensanche de Barcelona. Vol. II: La urbanización como un hecho concreto. Estadística urbana de Barcelona*. (Ed. Madrid: Instituto de Estudios Fiscales, 1968).

⁴⁷² Cfr. Ramos, J.L. (2014): "Edwin Chadwick, el movimiento británico de salud pública y el higienismo español", *Rev. de Historia Industrial*, año XXIII, 2014.2, pp. 11-38.

⁴⁷³ Cfr. Phillips, A.D.M. (2004): 'Denton, John Bailey (1814-1893)', *Oxford Dictionary of National Biography*.

⁴⁷⁴ Rankine, W.J.M. (1862): *A Manual of Civil Engineering*, London: Griffin, Bohn & Cia, 820 pp.

El apartado en que trata obras propias de la ingeniería sanitaria (aunque aún en este libro no se utiliza todavía la expresión ‘ingeniería sanitaria’) es el de obras hidráulicas, en donde detalla la actividad ingenieril para el diseño y construcción de abastecimientos de agua. En este capítulo, Rankine detalla: la teoría del flujo del agua, o hidráulica; medidas y estimaciones de la cantidad de agua; embalses y reservorios de agua; canales de agua naturales y artificiales; sistemas de drenaje; y sistemas de abastecimiento de aguas.

Las aportaciones del ingeniero Denton, que se producen entre 1849 y 1881, coinciden prácticamente con el período embrionario, formativo, de la ingeniería sanitaria. Entre sus publicaciones pueden señalarse: *Sewerage of London* (1849); *Land Drainage and drainage Systems* (1854); *Underdrainage of Land; its progress and results* (1855); *The effect of Underdrainage on Arterial Channels and Outfalls* (1858); *The Discharge from Underdrainage* (Telford Medal, Institution of Civil Engineers.) (1863); *The Marshes of South Italy* (1865); *The Water Question* (1866); *Sanitary Works* (1869); *Sewage Farming* (1870); *Sewage the Fertilizer of Land, and Land the Purifier of Sewage* (1871); *Underdrainage and the steps taken to develop and maintain its effects* (1872); *Intermittent Downward Filtration and Irrigation* (1873); *Sanitary Science applied to Towns and Rural Districts* (1874); *Storage of Water* (1874); *Sanitary Engineering* (1877); y *Sewage Disposal* (1881). En cierto modo, el recorrido temático de las obras de Denton reproduce el fenómeno paralelo de conformación de la ingeniería sanitaria. Esto se hace muy visible en la transformación del título de dos de sus obras, desde el de ‘ciencia sanitaria aplicada a las ciudades y distritos rurales’ (1874) hasta el título de ‘ingeniería sanitaria’ (1877).

Avanzada la segunda mitad del siglo XIX, en los Estados Unidos emerge una figura referencial: el coronel George E. Waring; considerado como el pionero de la ingeniería sanitaria en América, hasta el punto de que sus servicios públicos para Estados Unidos se han equiparado a los de Edwin Chadwick y Robert Rawlinson para Inglaterra⁴⁷⁵. Waring combina la práctica ingenieril como higienista con el debate teórico sobre sistemas técnicos, donde destaca su apoyo a los sistemas separativos de saneamiento, en los que se aboga por una gestión diferenciada de las aguas fecales respecto a las aguas de lluvia. En materia de saneamiento pueden destacarse sus aportaciones como publicaciones en formato de artículos breves o capítulos de libros: en 1867 sobre drenaje doméstico y urbano y sus relaciones con la salud pública⁴⁷⁶, en 1877 sobre obras de ingeniería sanitaria urbanas⁴⁷⁷, en 1879 sobre drenaje urbano⁴⁷⁸, y en 1883 sobre drenaje sanitario⁴⁷⁹.

En 1872, el ingeniero civil William Eassie publica un breve artículo⁴⁸⁰ en la revista *The British Medical Journal* en donde informa de los materiales de construcción sanitarios (canales, tuberías, juntas...) disponibles para la construcción de obras sanitarias domésticas, en hospitales y edificios públicos. El interés particular de este artículo está en que, aunque habla de instalaciones que actualmente se considerarían de fontanería, se trata de una presentación de materiales constructivos sanitarios en una revista médica, y que sería una de las primeras ocasiones conocidas que se está utilizando la expresión de ‘sanitary engineering’.

⁴⁷⁵ Cfr. Gerhard, P. (1909): *Sanitation and Sanitary Engineering*, pp. 104-105.

⁴⁷⁶ Waring, G.E. (1867): “Chapter XI: House Drainage and Town Sewerage in Their Relations to the Public Health”, *Draining for Profit and Draining for Health*, New York: Orange Judd & Co., pp. 222-239.

⁴⁷⁷ Waring, G.E. (1877): “Village Sanitary Works”, *Scribner's Monthly*, vol. XIV, n° 2 (June 1877), pp. 176-187.

⁴⁷⁸ Waring, G.E. (1879): “The Draining of a Village”, *Harper's New Monthly Magazine*, vol. 59, Issue 349, pp. 132-135.

⁴⁷⁹ Waring, G.E. (1883): “Sanitary Drainage”, *The North American Review*, vol. 137, Issue 320 (July 1883), pp. 57-67.

⁴⁸⁰ Eassie, W. (1872): “Reports on Sanitary Engineering in Houses, Hospitals, and Public Institutions”, *The British Medical Journal*, June 1, 1872, pp. 593-594.

Ya a comienzos del siglo XX, la obra de Paul Gerhard *Sanitation and Sanitary Engineering* (1909) se convierte en una referencia clásica sobre el saneamiento y la ingeniería sanitaria. La obra⁴⁸¹ de Gerhard, quien se describe como asistente y discípulo de G.E. Waring, puede dividirse en cuatro partes, destacando por su interés histórico el capítulo tercero, que está dedicado a lo que sería una revisión histórica de la ingeniería sanitaria entre los años 1850 y 1900, lo que se convierte en un interesante estudio histórico del siglo XIX hecho desde la proximidad de los principios del siglo XX. Este tipo de ‘análisis histórico’ incorporados en estas memorias ingenieriles, sugiere una tendencia, por la que los proyectos de saneamiento justifican sus decisiones contrastándolas con el estado antecedente. Esto puede verse también en España, por ejemplo en el caso de las obras de saneamiento del puerto de Alicante

El estado de las ciudades es esencial al hecho de la ingeniería sanitaria. Las funciones urbanas, de trabajo, habitación (vivienda), movilidad y ocio, son el resultado –entre otros factores– de la ingeniería municipal y sanitaria. Aunque existen monografías sobre unas u otras ciudades (fundamentalmente europeas y americanas), no es frecuente –al menos en las primeras décadas del siglo XX– contar con un análisis detallado conjunto de un grupo de ciudades. En este sentido, la Carta de Atenas es un hito en la evaluación crítica del estado del urbanismo en el primer tercio del siglo XX. Desde 1928, los Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna (CIAM) habían reunido unas energías hasta entonces dispersas, celebrando sus asambleas en diversas ciudades de Europa. En 1933 le llegó su turno a Atenas.

El nombre de Atenas aparecía como un escudo resplandeciente, y la palabra Carta como un mandato para pensar rectamente. El impulso de Le Corbusier⁴⁸² pone en valor y difunde los resultados del congreso de Atenas en que se analizan treinta y tres ciudades⁴⁸³. El trabajo tiene tres partes: 1) generalidades; 2) estado actual de las ciudades, críticas y remedios; 3) conclusiones. En el de estado de las ciudades considera cuatro grandes apartados: habitación, esparcimiento, trabajo y circulación. Para cada uno de ellos define las observaciones (críticas) y las exigencias (propuestas necesarias).

El libro comentado de Gerhard *Sanitation and Sanitary Engineering* (1909) dedica un capítulo a repasar el saneamiento durante el medio siglo anterior (1850-1900), por lo que esta referencia puede considerarse también como una fuente primaria (histórica) a la hora de estudiar la visión histórica de la ingeniería sanitaria. El autor incluye tanto cuestiones técnicas ingenieriles relativas a la limpieza, saneamiento y vertido de aguas y basuras, como a otros aspectos más próximos al urbanismo y la planificación, pero en todo caso siempre orientados a la higiene pública en las ciudades y poblaciones.

También a principios del siglo XX, en su manual referencial sobre la práctica del alcantarillado y el saneamiento, los americanos Leonard Metcalf y Harrison P. Eddy (1914) dedican una extensa introducción a lo que sería una reflexión histórica sobre las lecciones aprendidas en las obras de alcantarillado, lo que supone una revisión de los progresos científicos y técnicos durante el siglo XIX hasta alcanzar un nivel ingenieril consolidado, tanto en la práctica como en la teoría.

La ingeniería sanitaria e hidráulica está considerada, con un capítulo propio, en una de las obras importantes en historia de la ingeniería desde su publicación inicial a mediados del siglo XX: *Engineering in History* de Kirby *et al.* (1956)⁴⁸⁴. Los autores tratan conjuntamente la

⁴⁸¹ Gerhard, P. (1909): *Sanitation and Sanitary Engineering*, New York.

⁴⁸² Le Corbusier (1943): *La Charte d'Athènes* (ed. cast. *Principios de urbanismo. La Carta de Atenas*).

⁴⁸³ Amsterdam, Atenas, Bruselas, Baltimore, Bandung, Budapest, Berlín, Barcelona, Charleroi, Colonia, Como, Dalat, Detroit, Dessau, Estocolmo, Frankfurt, Ginebra, Génova, La Haya, Los Ángeles, Littoria, Londres, Madrid, Oslo, París, Praga, Roma, Rotterdam, Utrecht, Verona, Varsovia, Zagreb y Zurich.

⁴⁸⁴ Kirby, R.S.; Withington, S.; Darling, A.B. & Kilgour, F.G. (1956): *Engineering in History*, New York, McGraw-Hill.

ingeniería sanitaria y la hidráulica, lo que da una idea de la importancia de esta agrupación, así como del enfoque predominantemente hídrico que le van a conferir a la ingeniería sanitaria. En esta obra se trata con relativo detalle: la formación de la ingeniería sanitaria durante el siglo XIX; el abastecimiento urbano a la ciudad de Nueva York; el vertido de aguas residuales; sobre ríos y canales; y regadíos y recuperación de terrenos⁴⁸⁵.

Como se observa una y otra vez, las cuestiones de la ingeniería sanitaria están indisolublemente vinculadas a las cuestiones de la ciudad en su dimensión física, urbanística. Si bien muy diversos autores han realizado reflexiones y apuntes de orden histórico sobre la construcción y evolución de sus ciudades, entre los primeros autores que han puesto de manifiesto en relato histórico-filosófico los problemas socio-ambientales de la ciudad, merece una especial consideración Lewis Mumford con su *The City in History* (1961)⁴⁸⁶ con sus capítulos correspondientes al período en estudio: “Paraíso paleotécnico: Coketown” (cap. XV); “Suburbios... y más allá” (cap. XVI); y “El mito de la megalópolis” (cap. XVII). El último capítulo de la obra de Mumford (Visión retrospectiva y perspectiva) ofrece una visión lúcida –desde la década de los años sesenta– de los problemas y retos de la ciudad, en donde el enfoque ecológico adquiere un valor nodular en el proceso de reconstrucción cultural y física de las urbes.

Como complemento del enfoque ingenieril y urbanístico, desde el enfoque médico-sanitario pueden señalarse los trabajos de Brown y McLean (1967) de revisión histórica de las enfermedades de origen hídrico⁴⁸⁷. Entre los estudios históricos sobre higienismo y salud pública hay que destacar las referencias al episodio de investigación del doctor Snow sobre la epidemia de cólera de Londres de 1854, que se hará omnipresente en la historia de la higiene pública (Brown y McLean, 1967; Brody *et al.*, 2000⁴⁸⁸). Se trata de la investigación realizada por el doctor Snow, quien con métodos cartográficos y estadísticos identifica la correlación entre un número elevado de fallecimientos por el cólera con la distribución del agua desde un pozo de Broad Street. Se comenta que la clausura del pozo permitió que remitiera la epidemia, demostrando el potencial de este tipo de razonamientos⁴⁸⁹. Este episodio se considera la demostración práctica de que ciertas enfermedades podían ser transmitidas por el agua. Una teoría que entonces tenía un encaje complicado, puesto que aún dominaba el paradigma de la teoría miasmática (o anticontagionista, según diversos autores).

Para completar el campo básico de actividades de la ingeniería sanitaria puede destacarse una de las obras de referencia sobre la historia de la actividad relativa con la gestión de la basura (residuos sólidos urbanos, en terminología más propia) en el ámbito municipal se debe al historiador Martin V. Melosi, quien con su *Garbage in the Cities: Refuse, Reform and the Environment* (1880-1980), publicado inicialmente en 1981, traza detalladamente la evolución

⁴⁸⁵ Respecto a la bibliografía referida en Kirby *et al.* (1956) sobre ingeniería sanitaria e hidráulica, de entre las nueve obras recogidas, sólo una puede considerarse de interés sobre ingeniería sanitaria: Baker, M.N. (1948): *The Quest for Pure Water*, New York: American Water Works Assn.

⁴⁸⁶ Mumford, L. (1961): *The City in History*, New York: Harcourt, Brace & World (ed. castellano *La ciudad en la historia. Sus orígenes, transformaciones y perspectivas*, 2014, Logroño: Pepitas de Calabaza).

⁴⁸⁷ Brown, J.R. & McLean, D.M. (1967): “Water-borne diseases: An historical review”, *Medical Services Journal of Canada*, 23, no. 8, pp. 1011-1026.

⁴⁸⁸ Brody, H., Russell, M., Vintén-Johansen, P., Paneth, N. & Rachman, S. (2000): “Map-making and myth-making in Broad Street: the London cholera epidemic, 1854.”, *Lancet*, 356: 64-8.

⁴⁸⁹ No obstante deben señalarse varias cuestiones: la actuación de Snow no dejó de ser un caso aislado, aún durante décadas –tanto en Londres como en numerosas ciudades europeas y norteamericanas– se siguieron produciendo incesantes epidemias que no pudieron ser contenidas. El problema que tiene este episodio puntual, elevado a una categoría científica casi mítica, es que su ubicuidad ha distorsionado el relato de la historia sobre higiene pública e ingeniería sanitaria durante el siglo XIX.

de la problemática de los residuos sólidos urbanos en las ciudades norteamericanas desde finales del siglo XIX hasta la década de los ochenta del siglo XX.

A principios de los años noventa, Reynolds (1991) presenta como editor una colección comprensiva sobre la historia de la práctica ingenieril y de sus instituciones en Norteamérica⁴⁹⁰. Un texto cuya importancia está destacada de forma cuantitativa al señalar que en esos momentos en Estados Unidos hay cerca de dos millones de personas dedicadas a la ingeniería, lo que lo convierte en una de los mayores colectivos profesionales del país. Dentro de esta obra puede destacarse, como contribución específica a la ingeniería sanitaria: “Raising and Watering a City: Ellis Sylvester Chesbrough and Chicago's First Sanitation System” de Louis P. Cain.

Se entiende que, como cierre de las aportaciones al conocimiento histórico de la ingeniería sanitaria en el siglo XX, tiene un puesto más que destacable la obra de Martin V. Melosi *The Sanitary City* (2000)⁴⁹¹, una obra en la que, junto con el abastecimiento de aguas y el saneamiento de las aguas residuales, trata el tema de las basuras, conformando lo que podría considerarse como la tríada de servicios técnicos esenciales de la ingeniería sanitaria. Melosi, combinando fuentes académicas y no académicas (literatura gris, periodística...) no sólo analiza el incremento de población y los cambios tecnológicos que se producen en las ciudades norteamericanas entre el siglo XIX y el XX, sino también el crecimiento progresivo de la conciencia sobre salud pública y ecología.

⁴⁹⁰ Reynolds, T.S. (ed.) (1991): *The Engineer in America*, Chicago, Univ. of Chicago Press.

⁴⁹¹ Melosi, M.V. (2000): *The Sanitary City: Urban Infrastructure in America from Colonial Times to the Present*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 578 pp.

6.2 LA INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL COMO *EXPLICANDUM*: ESTADO ACTUAL (S. XXI)

Este apartado de estado actual es la revisión y actualización del apartado de antecedentes (hasta finales del siglo XX) de la ingeniería sanitaria. Tratando ahora del estado actual (en la referencia temporal de los años transcurridos del siglo XXI) hablo de ‘ingeniería sanitaria y ambiental’ en vez de la expresión que he empleado hasta este momento de ‘ingeniería sanitaria’. Utilizo la denominación de ‘ingeniería sanitaria y ambiental’ siguiendo a Tejero, Suárez, Jácome y Temprano (2004) para referirme a lo que puede entenderse como ingeniería sanitaria ‘expandida’, como la disciplina, en la ingeniería civil, de la ingeniería sanitaria en la actualidad. Lo que va más allá de los objetos tradicionales (aguas de abastecimiento, depuración de aguas residuales y basuras) y del enfoque tradicional (salud pública y soluciones constructivas), e incluye nuevos objetos (calidad del aire, calidad de suelos y residuos peligrosos, gestión ambiental..) y nuevos enfoques (visión ecosistémica, desarrollo urbano sostenible e integrado...).

Como primera aproximación, considero que el estado actual (siglo XXI) de la ingeniería (civil y ambiental) sanitaria puede estar representado por publicaciones técnicas (de tipo universitario) sobre la materia de la ingeniería ambiental. De todo el amplio corpus disponible voy a destacar las de uso frecuente en la actividad docente universitaria, por entender que puede reflejar ese estado actual. Así, considero como ejemplos: *Fundamentos de ingeniería ambiental* de Mihelcic (2001)⁴⁹²; *Introducción a la ingeniería ambiental*, de Javier Arellano (2002)⁴⁹³; *Manual de referencia de la ingeniería ambiental* de Robert A. Corbitt (2003)⁴⁹⁴; *Introducción a la ingeniería sanitaria y ambiental* de Tejero et al. (2004)⁴⁹⁵; *Bases de la ingeniería ambiental* de Muñoz y Álvarez (2012)⁴⁹⁶; y *Handbook of Environmental Engineering* de Frank R. Spellman (2015)⁴⁹⁷.

6.2.1 Definición, objeto y demarcación de la actividad

Esta primera tarea de clarificación de la terminología, concepto (definición y alcance), así como posición taxonómica de la ingeniería sanitaria y ambiental respecto a otras disciplinas ingenieriles, tiene por objeto establecer, a modo de *explicandum* en transformación, el abanico terminológico, las definiciones y alcance implicados, así como el marco taxonómico en que se encuentra actualmente lo que se viene nombrando en unos casos como ‘ingeniería sanitaria’, en otros como ‘ingeniería sanitaria ambiental’, o como ‘ingeniería sanitaria y ambiental’, e incluso como ‘ingeniería ambiental’. De todo modos, puede afirmarse que la ingeniería sanitaria y ambiental del siglo XXI, participaría de dos disciplinas ingenieriles de primer orden: la ingeniería civil y la ingeniería ambiental.

6.2.1.1 Definición y objeto de la actividad

La terminología actual empleada para la actividad que englobo provisionalmente como ingeniería ambiental sanitaria se ha venido denominando de diferentes formas: ingeniería sanitaria (*sanitary engineering*) (Metcalf-Eddy⁴⁹⁸, 1985, 1994; Webster, 1997);

⁴⁹² Mihelcic, James R. (2001): *Fundamentos de ingeniería ambiental*, México: Limusa Wiley.

⁴⁹³ Arellano Díaz, J. (2002): *Introducción a la ingeniería ambiental*, México D.F., Ed. Alfaomega, I.P. Nacional.

⁴⁹⁴ Corbitt, R. A. (2003): *Manual de referencia de la ingeniería ambiental*, Madrid: McGraw-Hill.

⁴⁹⁵ Tejero, I., Suárez, J., Jácome, A. & Temprano, J. (2004): *Introducción a la ingeniería sanitaria y ambiental*, Santander: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Santander.

⁴⁹⁶ Muñoz, V. y Álvarez, J. (2012): *Bases de la ingeniería ambiental*, Madrid: UNED.

⁴⁹⁷ Spellman, F.R. (2015): *Handbook of Environmental Engineering*, Boca Ratón, Flo., CRC Press.

⁴⁹⁸ Estas obras norteamericanas, traducidas al castellano con el título general de ‘ingeniería sanitaria’, tienen en su título original el término *Wastewater Engineering* (ingeniería de aguas residuales), que responde realmente a los contenidos. Se trata de obras técnicas de referencia en la ingeniería española.

ingeniería ambiental (*environmental engineering*) (Peavy *et al.*, 1985; BSI, 1993; Kiely, 1999; Arellano, 2002; Corbitt, 2003; Salvato, 2003⁴⁹⁹; Davis y Masten, 2005, 2014; Spellman, 2015); ingeniería medioambiental (Seoánez, 1999; Martínez-Val, 2000); o ingeniería sanitaria y ambiental (Tejero *et al.*, 2004).

De igual modo, el alcance y tipo de la actividad varía con cierta amplitud según sea abordado por uno u otros autores. Algo que no sólo pasa hasta finales del siglo XX, como se ha visto en el apartado de antecedentes, sino que en la actualidad sigue un comportamiento similar. Así, se sumarían a definiciones ya vistas como las de Peavy *et al.* (1985) o las de Webster (1997: 498), la mantenida en Burstein (2003: 1.1) al señalar que: “las principales especialidades de la ingeniería ambiental están bien fijadas: control de la calidad del aire, gestión del suministro de agua, vertidos de agua residual, gestión del agua de lluvia, gestión de residuos sólidos y gestión de residuos peligrosos”, habiendo señalado también que “más recientemente, la eliminación de la contaminación del aire y el suelo han supuesto un nuevo reto para los ingenieros ambientales”⁵⁰⁰.

Para Arellano (2002: 25) “la ingeniería ambiental se define como la rama de la ingeniería que se encarga del diseño de tecnologías encaminadas a evitar y controlar la contaminación del medio ambiente provocada por las actividades del hombre, así como a revertir sus efectos. (...) En la ingeniería ambiental se abarcan de manera integral los aspectos relacionados con la prevención y control de la contaminación en el aire, suelo o agua. (...) También contempla la restauración y limpieza de los ecosistemas que han sido afectados de manera importante por uno o varios contaminantes y el desarrollo de tecnología menos contaminante, tanto de procesos industriales como de fuentes alternas de energía más limpias y seguras.”

En la actualidad, entre las definiciones técnicas más completas publicadas pueden señalarse aquellas que se apoyan en enfoque de sistemas ambientales (*cfr.* Davis y Masten, 2014: 12-19), comprendiendo el sistema de gestión del recurso agua, con los subsistemas de abastecimiento de agua y subsistema de vertido de aguas residuales, el sistema de gestión del recurso aire, el sistema de gestión de residuos sólidos, y los sistemas multimedio (aire-agua-suelo).⁵⁰¹

6.2.1.2 Demarcación de la actividad de ingeniería ambiental

Si como se observa, la denominación es variada (ingeniería sanitaria, ingeniería ambiental, ingeniería sanitaria y ambiental...), la demarcación de la actividad tampoco es precisa. Demarcar esta actividad significa ponerla en relación con otras actividades relacionadas, tanto en un orden superior de clasificación, como con aquellas actividades humanas que pueden estar situadas en un orden similar de clasificación. Ya se ha visto antes (ej. clasificación UNESCO) cómo las actividades –y eventualmente subactividades– del mundo de la ingeniería ambiental sanitaria, no están claramente demarcadas, ni de forma absoluta ni en relación con otras actividades. Puede decirse que, en ausencia de una demarcación completa, la demarcación se está produciendo por la vía de los hechos, ocupando un determinado campo del conjunto de las actividades humanas intensivas en

⁴⁹⁹ Salvato, J.A., Nemerow, N.L. y Agardy, F.J. (2003) *Environmental Engineering*, New Jersey, John Wiley.

⁵⁰⁰ Burstein, David (2003): “Ingeniería ambiental”, en: Corbitt (ed.) *Manual de referencia de la ingeniería ambiental*, Madrid, McGraw-Hill.

⁵⁰¹ *Cfr.* Davis, Mackenzie Leo y Masten, Susan J. (2014): *Principles of Environmental Engineering and Science*, Boston, McGraw-Hill. pp. 12-19.

conocimiento. Esta ‘demarcación por ocupación’ se manifiesta en dos campos de la actividad: en el académico (docente) y en el de la práctica profesional productiva⁵⁰².

Dado que las intervenciones propias de la ingeniería ambiental constituyen por lo general una actividad profesional reglada, vinculada a procedimientos técnicos y normas jurídicas, el campo académico (docente) está orientado a producir profesionales competentes (técnica y legalmente) para dicha actividad. De este modo, es en la formación universitaria profesionalizante en donde pueden encontrarse las marcas que, de hecho, dibujan el contorno temático al que se orienta la ingeniería ambiental.

Esto significa que la respuesta a la demarcación real de la ingeniería ambiental –para un ámbito geográfico determinado– está predefinida por el modelo académico universitario profesionalizante. Un modelo que responde básicamente a criterios formalizados de legalidad profesionalizante (planes de estudio vinculados a actividades profesionales regladas) junto a criterios menos formalizados, pero determinantes, como son las estructuras académicas (escuelas técnicas, departamentos y áreas) incluyendo distintas escuelas y comunidades ingenieriles.

Dado que el ámbito geográfico condiciona en gran medida la demarcación de la actividad de la ingeniería ambiental, voy a referirme brevemente a la situación que se observa en el área norteamericana (a partir del ejemplo de la *American Society of Civil Engineers*, ASCE), y después a la que se observa en el área europea, nominadamente desde el caso universitario y profesional español.

En el área norteamericana, dentro de la *American Society of Civil Engineers* (ASCE), uno de los canales más importantes de comunicación interna y externa de la actividad de la ingeniería civil lo constituyen sus revistas técnicas periódicas. En el ámbito sanitario y ambiental, a partir del año 1956 se reorganiza el *Journal of the Sanitary Engineering Division*, que pasará a llamarse *Journal of Environmental Engineering*. Esta revista puede considerarse una buena representación de la actividad de investigación y práctica profesional de la ingeniería ambiental –desde la ingeniería civil– en el ámbito norteamericano e internacional.

Así, *Journal of Environmental Engineering*, una revista con una serie continuada de más de seis décadas, representa bien el campo de actividad, como queda reflejado en su declaración de objetivos y alcance:

(...) presenta amplia información interdisciplinaria sobre la práctica y el estado de la investigación en ciencias de la ingeniería ambiental, ingeniería de sistemas y saneamiento. Los documentos se centran en el diseño, el desarrollo de métodos de ingeniería, gestión, políticas gubernamentales y los impactos sociales de la recogida y tratamiento de aguas residuales; el destino y el transporte de contaminantes en las cuencas hidrográficas, en las aguas superficiales, en las aguas subterráneas, en el suelo y en la atmósfera; biología ambiental, microbiología, química, mecánica de fluidos y procesos físicos que controlan las concentraciones naturales y la dispersión de desechos en el aire, el agua y el suelo; contaminación de fuentes no puntuales en cuencas hidrográficas, en arroyos, en aguas subterráneas, en lagos y en estuarios y áreas costeras; tratamiento, manejo y control de desechos peligrosos; control y monitoreo de la contaminación del aire y la deposición ácida; gestión del aire; y diseño y gestión de instalaciones de residuos

⁵⁰² Como se verá más adelante, consideraré que la actividad ingenieril se realiza en cuatro campos: académico (en donde están la función docente y una función de conservación-acumulación de los conocimientos propios de la actividad), de I+D+i (investigación, desarrollo e innovación), de realizaciones profesionales productivas (diseño, construcción, operación y gestión de sistemas tecnológicos), y de gestión y control.

sólidos. Se busca una contribución equilibrada de consultores, ingenieros en ejercicio e investigadores en soluciones de ingeniería, obligaciones profesionales y responsabilidades.⁵⁰³

Si nos situamos ahora en este lado del Atlántico, observamos cómo la ingeniería ambiental sanitaria se encontraría, dentro del espacio universitario europeo y más concretamente en el espacio universitario español (como unidad mínima de marco profesionalizante), en el ámbito académico (docente) de las escuelas técnicas superiores de ingeniería de caminos, canales y puertos; bajo esta última denominación de ‘ingeniería de caminos, canales y puertos’, pero también (aunque no equivalente) de ‘ingeniería de obras públicas’ o, más en línea con la denominación internacional, de ‘ingeniería civil’.

Esta correspondencia que se establece entre la función profesional de la actividad y la función académica (docente) de la ingeniería ambiental está fundamentada –en el caso del espacio universitario español– por las normas jurídicas que establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión. Teniendo en cuenta que los requisitos son capacidades y conocimientos que habiliten para la práctica profesional, resulta entonces que es la práctica profesional la que en último término determinaría (teóricamente) los contenidos y alcance de la función académica docente.

Esto significa en términos prácticos que en el caso de la ingeniería ambiental sanitaria el tipo de demarcación que se produce (demarcación por vía de los hechos) no resulta en un espacio de actividades definido ni relacionado jerárquicamente, sino en un conjunto de operaciones profesionales que –puede entenderse– se corresponden en cierta medida con algunas de las propias de una ingeniería ambiental. Esto lleva, en cierta medida, a un primer conflicto entre los débiles intentos de formalización de las disciplinas ingenieriles que se realiza desde el ámbito docente (véase como ejemplo las definiciones dadas más arriba) con la identificación de los objetos de actividad de la ingeniería ambiental de acuerdo con el abanico de competencias profesionales que, como ejemplo, se expone en la tabla adjunta⁵⁰⁴.

Tabla 6.2.1.a) Selección de proyectos/actuaciones competencia de la ingeniería de caminos relacionados con la ingeniería ambiental

Apartado correspondiente	Tipo de proyecto/actuación
c) Hidráulica y energía	Presas, embalses, azudes, canales, acueductos, túneles, tuberías, acequias, elevaciones de agua, desagües, drenajes, alumbramientos y captaciones de aguas superficiales, subálveas y subterráneas, depósitos, abastecimientos de aguas, conducciones, redes de saneamiento, vertidos a cauces, tratamientos de potabilización de aguas, incluida la desalación, y depuración de éstas Planificación y gestión de los recursos hidráulicos y energéticos, incluyendo la gestión integral del ciclo del agua.
d) Urbanismo y ordenación del territorio. Ingeniería de la ciudad.	Captaciones superficiales y subterráneas de aguas; elevaciones de agua; depósitos de regulación y distribución; conducciones de agua; redes de distribución; redes de alcantarillado; estaciones depuradoras; vertidos de aguas a cauces y costas; recogida, tratamiento y eliminación de basuras.
g) Medioambiente	Asesoría, proyecto y planificación para el acondicionamiento medioambiental de las obras de infraestructuras en proyectos, construcción, rehabilitación y conservación.

⁵⁰³ <https://ascelibrary.org/journals> (acceso enero 2018).

⁵⁰⁴ A partir de: ‘Competencias de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos’, en Colegio de I.C.C.P. Galicia, oct., 2017.

Apartado correspondiente	Tipo de proyecto/actuación
	Análisis y diagnóstico de los condicionantes ambientales, sociales, culturales, y económicos de un territorio para la realización de proyectos de obras y ordenación territorial y planeamiento urbanístico desde la perspectiva de un desarrollo sostenible.
	Redacción de proyectos de calificación ambiental de actividades

Todo lo anterior muestra que la ‘demarcación por vía de los hechos’ como en el caso de la ingeniería ambiental que se genera mediante una correspondencia casi automática entre competencias profesionales y formación académica, define de modo reactivo e incompleto el campo de contenidos de la actividad en cuestión. Esto sería problemático en cualquier caso, pero aún más en una disciplina (o subdisciplina) profesional como la ingeniería ambiental sanitaria que por sí sola representa un porcentaje destacable de la actividad profesional del conjunto de la ingeniería civil.

Si este tipo de análisis (definición, objeto y demarcación) que se está realizando para la ingeniería ambiental sanitaria se realiza con otra disciplina o subdisciplina ingenieril parece verosímil que el resultado no sea diferente.

El punto al que quiero llegar es que, aunque las disfunciones de este sistema no sean muy visibles, es razonable suponer que un proceso de clarificación de la definición de una actividad ingenieril (o de otro tipo), la precisión de su objeto y la demarcación de la actividad, pueden mostrar un escenario más claro de relaciones y por tanto favorecer –en cualquier caso– unas reacciones más positivas y consistentes entre la función académica y la función profesional productiva.

En relación amplia con este tema, y más particularmente desde un enfoque filosófico de la pedagogía de la ingeniería y la actividad profesional ingenieril, se han venido presentando diversas –en alcance y profundidad– publicaciones, entre las que pueden señalarse: Peña (2011) “La filosofía de la ingeniería y la formación en ingeniería”⁵⁰⁵ cuya intervención gira en torno a preguntas como: ¿La filosofía de la formación en ingeniería es diferente de la filosofía de la educación? ¿Cuáles son las cuestiones de una filosofía de formación en ingeniería? ¿En qué se diferencia la filosofía de la formación en ingeniería de la filosofía de la formación en ciencia o en medicina? ¿Hasta qué punto es necesaria una filosofía de la educación para el diseño de un plan de estudios?

6.2.2 Actualización historiográfica de la ingeniería sanitaria y ambiental

El estado actual de la historia sobre la ingeniería civil y ambiental sanitaria puede resumirse brevemente: durante el siglo XXI no puede hablarse de la creación de un nuevo cuerpo de conocimiento básico sobre la historia, no sólo de la ingeniería sanitaria, sino también de la ingeniería civil y ambiental. Cuando se comparan las historias elaboradas durante el siglo XIX y XX sobre la ingeniería sanitaria con las elaboradas ya en el siglo XXI, no se observan diferencias significativas.

Sería de suponer que, actualmente, gracias a la mayor facilidad en el uso de fuentes primarias, o la relevancia de algunas cuestiones metodológicas pudiera haber impreso un cambio importante en el análisis histórico. Sin embargo, de lo que puede hablarse es de una cierta continuidad entre los antecedentes y el estado actual, a salvo de algunos desarrollos más precisos, pudiendo concluirse (provisionalmente) que aún estaría pendiente una historia profunda de la ingeniería civil y ambiental sanitaria.

⁵⁰⁵ Peña, G. (2011): “La filosofía de la ingeniería y la formación en ingeniería, *Lámpsakos*, No. 5, pp. 37-40. Ene-Jun. 2011.

Cuando hablo de la historia de la ingeniería civil sanitaria voy a remontarme hasta mediados del siglo XVIII. Es claro, como se pone de manifiesto en los antecedentes, que en un pasado más remoto existen numerosas actividades y construcciones cuyo objeto está englobado dentro del campo que se considerará de la ingeniería sanitaria, pero no creo que hasta ese corte de mediados del siglo XVIII podamos hablar propiamente de una ingeniería en el sentido moderno del término⁵⁰⁶.

Esta es una debilidad que se observa en algunos estudios que tratan sobre la historia de la ingeniería civil, en donde se asume que una clase artificial como la de ‘ingeniería sanitaria’ o ‘saneamiento’ (tomado no por la actividad sino por el resultado) tiene una continuidad durante una larga serie histórica, como se ve por ejemplo en el artículo de Lofrano & Brown (2010) que comento en el apartado siguiente, en donde se expone una línea temporal de miles de años. Por esta razón, al concentrarme en el período que podría denominarse de la ingeniería tecnológica (desde mediados del siglo XVIII), voy a incluir en este apartado de estado actual de la historia de la ingeniería sanitaria sólo aquellos trabajos relevantes cuyos esfuerzos de investigación se centran –al menos aproximadamente– en esta etapa moderna de la ingeniería sanitaria.

Respecto a esta materia y enfoque, en el momento actual no pude afirmarse –con todas las prevenciones correspondientes– que se disponga de una completa historia (desde mediados del siglo XVIII) del saneamiento municipal e ingeniería sanitaria. Sin embargo, una de las aportaciones más reconocidas y más cercanas a esa historia sería el conjunto de las obras del historiador Martin V. Melosi, quien en *The Sanitary City: Environmental Services in Urban America from Colonial Times to the Present* (2000) realiza un recorrido, con enfoque en el abastecimiento de aguas, el saneamiento y depuración de las aguas residuales, y la gestión de los residuos sólidos urbanos (los tres servicios más relevantes de ingeniería sanitaria) de las ciudades norteamericanas desde el siglo XVIII en adelante.

La cronología de Melosi retrocede para comenzar a finales de la época colonial norteamericana, entrando en el primer período (hasta aproximadamente 1880) que denomina la ‘Edad de los Miasmas’, seguido por el período (desde finales del siglo XIX hasta el final de la II Guerra Mundial) de la ‘Revolución Bacteriológica’, para terminar con el período de la ‘Nueva Ecología’. Esta línea de tiempo de suficiente longitud permite, como sugiere Melosi, un “examen detallado de los cambios en tecnología, en la evolución de la autoridad regulatoria, y en las pautas de crecimiento urbano.”⁵⁰⁷

Este trabajo de Melosi, que puede considerarse como un estado actual de la historia de los servicios sanitarios de las ciudades norteamericanas, lo completa con dos obras más. En primer lugar, con *Effluent America Cities: Industry, Energy, and the Environment* (2001)⁵⁰⁸, un conjunto de ensayos sobre historia del medio ambiente urbano, agrupados bajo los epígrafes de: la contaminación en la América industrial⁵⁰⁹; el crecimiento urbano y los servicios comunes⁵¹⁰, terminado con el conjunto de la reforma ambiental urbana⁵¹¹.

⁵⁰⁶ Es en ese corte temporal de mediados del siglo XVIII en donde se puede colocar el inicio del proceso de transformación ontológica, epistemológica y axiológica de la ingeniería civil, de modo que a partir de entonces es cuando puede hablarse propiamente de esta ingeniería, como se verá más adelante.

⁵⁰⁷ Melosi, M.V. (2000): *The Sanitary City: Environmental Services in Urban America from Colonial Times to the Present*, University of Pittsburgh Press, p. 2.

⁵⁰⁸ Melosi, M.V. (2001): *Effluent America Cities: Industry, Energy, and the Environment*, University of Pittsburgh Press.

⁵⁰⁹ En donde reúne los ensayos: “Environmental Crisis in the City”, “The Relationship between Industrialization and Urban Pollution”, “Pollution and the Emergence of Industrial America”, “Down in the Dumps”, “Is There a Garbage Crisis in America?”, y “Hazardous Waste and Environmental Liability”.

⁵¹⁰ Donde recoge los ensayos: “The Place of the City in Environmental History”, “Cities, Technical Systems, and the Environment”, “Sanitary Services and Decision Making in Houston”, y “Community and the Growth of Houston”.

La última obra de Melosi que completa este grupo sería la actualización (publicada en 2004) de su libro sobre la basura publicado en 1981. Así, la obra revisada *Garbage in the Cities: Refuse, Reform and the Environment*⁵¹² profundiza en la historia sanitaria, ingenieril, de gestión y política de las basuras en Norteamérica⁵¹³. La diferencia con el texto inicial de Melosi está en una revisión de las discusiones en el período temprano considerado, y en las actualizaciones que realiza hasta finales del siglo XX.

Junto a esta panorámica histórica de Melosi de los servicios sanitarios y problemática ambiental en la ciudad americana, se dispone de diversos estudios centrados en servicios más concretos (como el abastecimiento de aguas, o el saneamiento y depuración de aguas residuales, o la gestión de los residuos). En ellos puede observarse cómo se han realizado diversas aproximaciones a historias y líneas de tiempo de hechos destacables en la ingeniería sanitaria, o de actividades relevantes de la misma como son el abastecimiento de agua y el saneamiento y depuración de las mismas.

Un ejemplo de la relectura de hitos históricos, en este caso del papel del doctor Snow en las epidemias de cólera en Londres, es el artículo de Bingham *et al.* (2004): “John Snow, William Farr and the 1849 outbreak of cholera that affected London: a reworking of the data highlights the importance of the water supply.”⁵¹⁴, donde esa revisión pone de manifiesto la importancia de los abastecimientos de agua en relación con las enfermedades de transmisión hídrica ya a mediados del siglo XIX.

Entre los más recientes estudios históricos sobre abastecimiento de aguas puede destacarse una completa historia elaborada por Marcis Kempe (2006) sobre el abastecimiento de aguas en Nueva Inglaterra⁵¹⁵ en donde, básicamente desde mediados del siglo XIX, refleja la evolución de las fuentes de suministro, de las tecnologías, de la conformación y gestión de los sistemas de abastecimiento de aguas, y de las problemáticas normativas, sociales y económicas vinculadas. Al tratarse de una historia regional podría pensarse que sus referencias tienen un valor geográficamente limitado. Sin embargo, más al contrario, tanto el tipo de historia como el hecho de que Nueva Inglaterra fuera el lugar de entrada de la vanguardia científica y tecnológica europea durante el siglo XIX y principios del XX, como el hecho de que la zona haya tenido un desarrollo económico y social extraordinario durante el s. XX, permiten considerar a este territorio como un modelo de la historia del abastecimiento de aguas en el ámbito socio-cultural (también entonces técnico y científico) euroamericano.

Este carácter supralocal del trabajo de Kempe puede observarse en las propuestas cronológicas que plantea, tanto respecto al abastecimiento de aguas (en este caso hasta finales del siglo XIX, cuando se constituye la NEWWA, asociación de obras hidráulicas de Nueva Inglaterra), como al posible aprovechamiento de los diferentes tipos de recursos de agua.

⁵¹¹ Incluyendo los ensayos: “Environmental Reform in the Industrial Cities”, “The Civic Response to Pollution in the Progressive Era”, “Sanitary Engineers in American Cities”, “Changing Roles from the Age of Miasmas to the Age of Ecology”, y “Environmental Justice, Political Agenda Setting, and the Myths of History”.

⁵¹² Melosi, M.V. (2004): *Garbage in the Cities: Refuse, Reform and the Environment*, The Pittsburgh University Press.

⁵¹³ El contenido completo, según el índice, incluye: Out of Sight, Out of Mind: The Refuse Problem in the Late Nineteenth Century; The “Apostle of Cleanliness” and the Origins of Refuse Management; Refuse as an Engineering Problem: Sanitary Engineers and Municipal Reform; Refuse as an Aesthetic Problem: Voluntary Citizens’ Organizations and Sanitation; Street-Cleaning Practices in the Early Twentieth Century, Collection and Disposal Practices in the Early Twentieth Century, Solid Waste as Pollution in Twentieth-Century America, The Garbage Crisis in the Late Twentieth Century.

⁵¹⁴ Bingham, P.; Verlander, N. Q. & Cheal, M. J. (2004): “John Snow, William Farr and the 1849 outbreak of cholera that affected London: a reworking of the data highlights the importance of the water supply.”, *Public Health*, 118: 387-94.

⁵¹⁵ Kempe, M. (2006): “New England Water Supplies: A Brief History”, *Journal of the New England Water Work Association*, vol. 120, n° 3, September 2006, 157 pp.

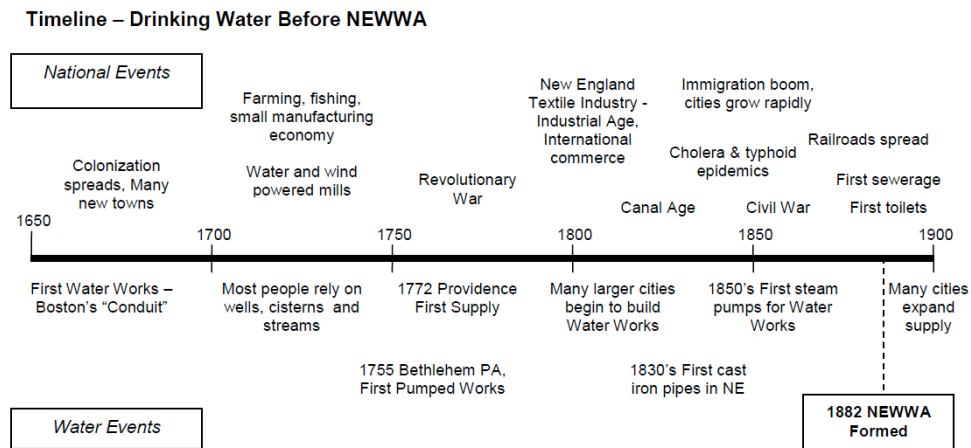


Fig. 6.2.2.a) Línea de tiempo del abastecimiento de agua potable (Kempe, 2006: 4)

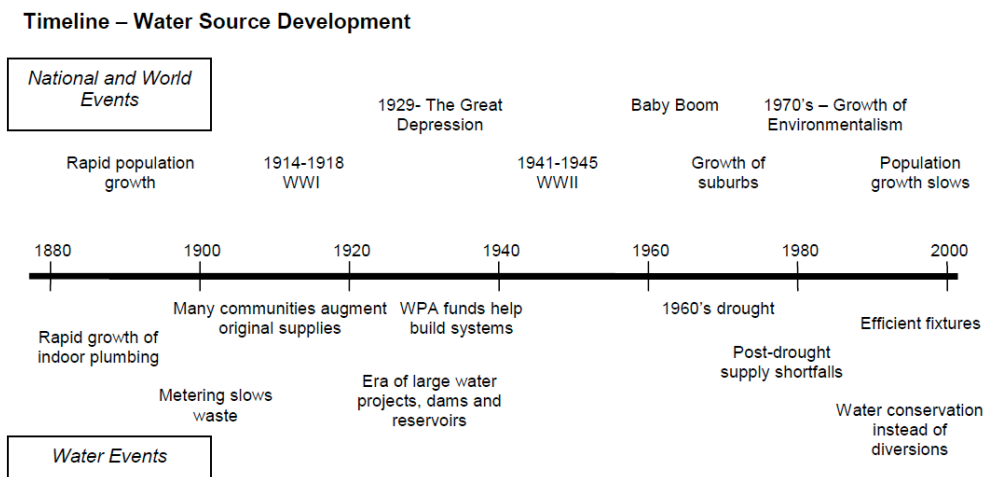


Fig. 6.2.2.b) Línea de tiempo del desarrollo de recursos hídricos (Kempe, 2006: 23)

Probablemente, la diferencia entre los antecedentes (obras del siglo XX) respecto al estado actual sea más visible en los estudios históricos sectoriales realizados a principios del siglo XXI. Esto es debido a que la larga historia que se plantea de la ingeniería sanitaria está íntimamente relacionada con historias (además de la de la ingeniería en general, como se ha visto) como la del higienismo y la salud pública, o sobre el urbanismo y la ciudad, o sobre servicios públicos objeto de la ingeniería sanitaria (abastecimiento de agua, saneamiento y depuración, gestión de residuos sólidos), hasta aspectos más amplios que tienen que ver precisamente con la transformación durante las últimas décadas de la ingeniería civil y ambiental sanitaria, como son la ética ambiental, las propuestas de modelo de crecimiento basado en el desarrollo sostenible, o problemas de ámbito global como el cambio climático.

Una de las propuestas más destacables sobre historia decimonónica de salud pública e higienismo sería la de José Luis Ramos Gorostiza (2014)⁵¹⁶ sobre el movimiento británico de

⁵¹⁶ Ramos, J.L. (2014): "Edwin Chadwick, el movimiento británico de salud pública y el higienismo español", *Revista de Historia Industrial*, nº 55, año XXIII, 2014.2., pp. 11-38.

salud pública y el higienismo español⁵¹⁷. El autor presenta al *sanitary movement* británico, que se apoya en los planteamientos del *Sanitary Report* (1842) de Chadwick, como el movimiento de salud pública más importante e influyente de la primera mitad del s. XIX, cuando se hacían cada vez más acuciantes los problemas en las ciudades industriales, debido al empeoramiento de las condiciones de vida, especialmente de la clase trabajadora. Ramos (2014: 38) sostiene que el objetivo del movimiento sanitario británico “fue neutralizar la peligrosa radicalización obrera y la creciente agitación social y evitar la degradación moral de la clase trabajadora, así como generar significativas ventajas económicas”.

También pueden señalarse ejemplos recientes como el del estudio histórico de Lofrano & Brown (2010) sobre la gestión de las aguas residuales a lo largo del tiempo⁵¹⁸ en donde se propone una sencilla línea de tiempo del saneamiento y se identifican una serie de etapas:

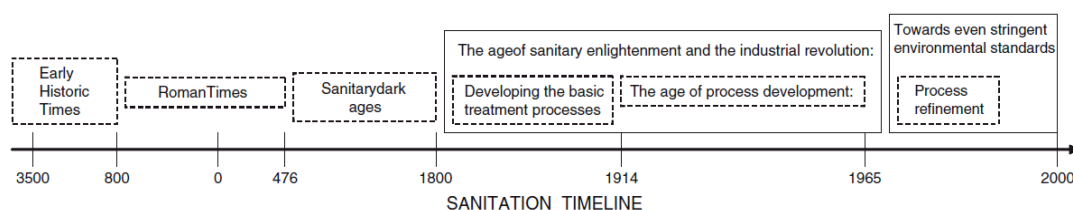


Fig. 6.2.2.c) Línea de tiempo del saneamiento (Lofrano & Brown, 2010)

La historia de la ingeniería civil y ambiental sanitaria tiene una relación con otros relatos históricos más generales, que pueden servir de marco de referencia, como son los aspectos económicos y políticos. Entre estos últimos, puede destacarse como una referencia del estado actual de la revisión histórica de las políticas ambientales, la publicación en 2009 de la obra de Frank Uekoetter *The Age of Smoke: Environmental Policy in Germany and the United States, 1880-1970*⁵¹⁹. Se trata de un estudio histórico comparativo entre las políticas ambientales (y protestas) de Alemania y de los Estados Unidos; un estudio relevante en tanto las políticas alemanas han tenido una extraordinaria influencia en el ámbito continental europeo, que a su vez ha tenido una importante repercusión internacional, mientras que las norteamericanas han tenido también una influencia global apreciable.

En estos momentos, a pesar de los antecedentes disponibles y de los avances en materia histórica sobre la ingeniería sanitaria y las materias relacionadas, puede afirmarse que aún es necesario proceder a la revisión y relectura de los materiales existente a fin de aproximar una secuencia histórica de ámbito general (al menos en el que corresponde al espacio euroamericano) que ayude a una comprensión más profunda de la actividad de la ingeniería sanitaria, y que de esta manera contribuya a su elucidación.

Tras una serie de interesantes procesos de consolidación como disciplina emergente (desde la ingeniería civil), será a finales del siglo XIX cuando puede datarse el nacimiento de

⁵¹⁷ Respecto al higienismo español, que no alcanzará la influencia del movimiento sanitario británico, pero que tiene su importancia en el ámbito peninsular y colonial, Ramos (2014:38) señala: “Por su parte, en estos mismos años centrales del siglo XIX, arrancaba y se consolidaba en España la higiene como disciplina moderna, con figuras como Mateo Seoane, Pedro Felipe Monlau y Francisco Méndez Álvaro. Este trabajo pretende analizar las conexiones, similitudes y diferencias entre el higienismo español y el *sanitary movement* británico.”

⁵¹⁸ Lofrano, G. & Brown, J. (2010): “Wastewater management through the ages: A history of mankind”, *Science of the Total Environment* 408 (2010) 5254–5264.

⁵¹⁹ Uekoetter, F. (2009): *The Age of Smoke: Environmental Policy in Germany and the United States, 1880-1970*, The Pittsburgh Press.

la ingeniería sanitaria como una disciplina de la ingeniería civil que reúne enfoques y aspectos de la higiene y salud pública, de la ingeniería civil en formación, y del urbanismo. Los conceptos médico-sanitarios son muy relevantes para la configuración de la ingeniería sanitaria, de ahí que el cambio de paradigma desde la teoría miasmática a la teoría microbiológica, producido durante el siglo XIX, tenga su correlato en la transformación de cuestiones ontológicas, epistemológicas, metodológicas y axiológicas de la ingeniería sanitaria. Así como en aspectos económicos y sociales de primera magnitud.

Por esto, para el proceso de elucidación filosófica de la ingeniería, entiendo que la revisión y análisis histórico, que la dimensión histórica relativa a los hechos, fenómenos, conceptos, artefactos, inventos, y comunidades, entre otros, es una de las claves para contribuir a la clarificación conceptual y lógica de la actividad.

6.2.3 Ingeniería sanitaria y ambiental: componentes, funciones y orientaciones

Con este apartado se quiere ofrecer una panorámica actual de la práctica de la ingeniería sanitaria y ambiental. Para ello se refleja la concepción propia de esta ingeniería, tal y como se presenta en los libros de texto, manuales de referencia y publicaciones profesionales. Para familiarizarse con esta visión, que puede denominarse como auto-descripción ‘intuitiva’, la presento mediante tres apartados. En primer lugar, cuáles son los componentes de la ingeniería sanitaria y ambiental, lo que vendría a ser una suerte de ‘ontología intuitiva’. En segundo lugar, las funciones que –por imperativo social– le corresponderían a una actividad como la ingeniería sanitaria y ambiental, ya de por sí muy profesionalizada e institucionalizada. Finalmente, describiré, en la medida de lo posible, las diferentes orientaciones de futuro que se están observando en esta actividad tecnológica ingenieril.

6.2.3.1 Componentes: agentes y recursos (agua, suelo-residuos, aire...) impactados

Al hablar de los componentes humanos o agentes involucrados en el campo de actividades de la ingeniería ambiental sanitaria consideramos, en primer lugar, a los agentes de la actividad pueden presentarse desempeñando tres diferentes funciones ingenieriles (que se tratarán más adelante): la función académico-docente, la profesional ingenieril (diseño, construcción, operación, gestión de sistemas tecnológicos) y la de investigación y desarrollo. De estas tres funciones, que pueden ejercitarse de modo complementario, resalta cuantitativa y cualitativamente la actividad profesional ingenieril.

Los profesionales de la ingeniería ambiental operan típicamente a través de lo que, en función del marco y la práctica, se viene denominado: ciclos (del agua, de la producción-consumo-residuos...), de sistemas (agua, electricidad), redes (de abastecimiento de aguas, de saneamiento de aguas residuales...) o servicios (urbanos, de agua, de recogida y tratamiento de residuos sólidos...). El diseño y operación de estos conjuntos de componentes materiales (artefactuales) responde a una lógica en donde se buscan procesos que permitan la satisfacción de alguna necesidad básica de la población.

Estos términos (ciclos, sistemas, redes y servicios) utilizados con no excesiva propiedad, hablan en todo caso de sistemas técnicos implementados. Unos sistemas que, por su naturaleza, están estrechamente relacionados con los grandes componentes ambientales o medios físicos: aire, aguas (superficiales y subterráneas), suelo y subsuelo. Así, los sistemas técnicos implementados operan mediando entre los usuarios o consumidores (de agua, por ejemplo) y los medios involucrados (medio agua) en un marco en donde las utilidades dan paso, normalmente a externalidades (consumo, degradación de calidad...) que a su vez suponen impactos ambientales sobre el medio físico que deben ser considerados.

Así, la ingeniería sanitaria tradicional (hasta finales del siglo XX) ha implementado sistemas técnicos vinculados al medio físico, incluyendo en estos sistemas dispositivos o procesos para la reducción de las externalidades (contaminación). El tránsito que se produce de una ingeniería sanitaria tradicional a una ingeniería ambiental sanitaria, o más genéricamente a una ingeniería sanitaria está relacionado con una consideración más profunda de las interrelaciones entre los medios físicos (aire-agua-suelo/subsuelo) en su calidad de sustento físico (biotopo) de los ecosistemas. Y, como consecuencia de esto, el análisis y consideración más profunda de la relación del medio físico (biotopo) con las comunidades biológicas (biocenosis) del ecosistema. Esta visión general ecosistémica, integrada, junto con la visión específica ecosistémica de los espacios intensamente urbanizados que anuda los conceptos de salud pública, calidad de vida, calidad ambiental y desarrollo sostenible, está marcando el estado actual y tendencias del análisis de componentes de la ingeniería ambiental sanitaria.

6.2.3.2 Funciones: servicios básicos (salud y medio ambiente) para la sociedad

Las funciones de la ingeniería ambiental sanitaria se incardinan en las funciones de la ingeniería civil y de la ingeniería ambiental, que a su vez se enmarcan en las funciones generales de la ingeniería, como un conjunto de servicios técnicos socioeconómicos.

Entre las más específicas funciones de la ingeniería ambiental sanitaria está la de proveer a la sociedad de servicios básicos para la salud y la calidad ambiental: abastecimiento de agua a la población y a las actividades económicas, saneamiento y depuración de las aguas residuales urbanas, y gestión integral de los residuos sólidos urbanos (RSU) producidos por las poblaciones y sus actividades económicas. Además de estas funciones existen otras menos centrales, pero también importantes de los ámbitos urbanos como son el control y corrección de la contaminación atmosférica (tanto por partículas como por ruidos) derivado de actividades como el tráfico, que está muy relacionado con las utilidades de las infraestructuras de transporte.

Se observa claramente cómo estas últimas están relacionadas con externalidades (deseconomías e impactos) de la actividad central de comunicación y transporte que se materializa en infraestructuras ubicuas como, por ejemplo, carreteras, ferrocarriles o aeropuertos. Una serie de infraestructuras que forman parte de las funciones objetivas de la ingeniería civil. Esto ha facilitado que la ingeniería ambiental sanitaria, en tanto rama ambiental de la ingeniería civil, también se haya ocupado progresivamente de canalizar (técnica y profesionalmente) la integración de la variable ambiental de las infraestructuras de ingeniería civil. En este sentido puede considerarse también que el ciclo completo de evaluación de impacto ambiental de infraestructuras de la ingeniería civil tiene cabida en una concepción amplia de la ingeniería ambiental sanitaria.

Las funciones señaladas de la ingeniería ambiental sanitaria no sólo tienen un carácter básico infraestructural de la sociedad, sino que contribuyen a la corrección ambiental de los impactos derivados del uso de recursos (señaladamente los recursos hídricos) y de la generación de contaminantes que impactan directamente sobre las poblaciones y sobre los medios ambientales (aguas, suelos y atmósfera).

6.2.3.3 Orientaciones

En este apartado, entiendo por orientaciones, los cambios de estructura, de posición, de intereses o de enfoque que, de manera esencialmente consciente, puede estar realizando la actividad de la ingeniería ambiental sanitaria.

En el ámbito docente e investigador de la ingeniería ambiental, una de las tendencias más claras en las últimas décadas es la formación de los departamentos conjuntos de ingeniería civil y ambiental, señaladamente en el ámbito norteamericano.

En el ámbito de la práctica profesional se observan reorientaciones hacia las soluciones más integradas y sostenibles, con una práctica más interdisciplinar, y con una incorporación de los elementos sociales a través de las prácticas de participación ciudadana. Estas orientaciones responden en gran medida a nuevas exigencias normativas.

Debe enfatizarse en la importancia que adquiere la adopción de normativas legales y técnicas, que están proporcionando en todo caso nuevas orientaciones (no siempre convergentes) a la práctica ingenieril. En el caso ambiental, esto puede resultar aún más llamativo por la complejidad de las normas legales de protección de la salud pública y de los ecosistemas. Es una materia de extraordinario interés pero que aún ha sido poco evaluada y considerada desde el campo académico.

6.2.4 Ingeniería sanitaria y ambiental: marcos, tendencias y retos

La ingeniería sanitaria y ambiental es una actividad que tiene una importancia crítica en el desarrollo económico, social y ambiental. Sin embargo, como se viene señalando, la propia actividad tiene una escasa cultura de visión estratégica, tanto sobre sí misma como sobre el medio (sistema mundo) en que opera. He considerado tres subapartados para desgranar diversas reflexiones relativas a: el campo y las reglas de juego de la actividad (marco); tendencias en desarrollos, avances, preocupaciones; y retos de carácter operativo y global. Como se verá, algunos temas esenciales de la agenda internacional, como el cambio climático global, se encuentran entre los retos nodulares para la ingeniería ambiental.

Se observará que la información sólo aparece parcialmente estructurada, con lo que pretendo reflejar la situación de la ‘vida ordinaria de la actividad de la ingeniería ambiental’ que puede bien representar a la ingeniería sanitaria y ambiental como *explicandum*.

6.2.4.1 Marcos

De acuerdo con las funciones mencionadas anteriormente, el marco operativo general en que se encuentra la ingeniería ambiental sanitaria es el de la exigencia social, básicamente, de garantizar un suministro de agua en calidad y cantidad para toda la población, mantener en estado adecuado de salubridad y calidad ambiental los asentamientos poblacionales, facilitar una adecuada gestión de los residuos sólidos producidos, y mantener un adecuado nivel de la calidad ambiental, de modo que se minimicen los riesgos para la salud de las poblaciones y la calidad de los ecosistemas.

Es bien conocido el hecho de que estos servicios básicos, a pesar de que han sido reconocidos como derechos, están distantes de ser una realidad práctica en todos los países y poblaciones mundiales. La demanda de servicios de agua potable y saneamiento asciende globalmente a cifras que manejan desde centenares hasta miles de millones de personas, con más de 2.000 millones de personas que viven en países con demasiado estrés por déficit de agua (ONU, 2017)⁵²⁰.

Estas son las magnitudes comunes a las descripciones oficiales del estado global del agua: 2.100 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura (OMS/UNICEF 2017); 4.500 millones de personas carecen de servicios de saneamiento gestionados de forma segura (OMS/UNICEF 2017); 340.000 niños menores de

⁵²⁰ Cfr. Datos ONU: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/> (acceso enero 2018).

cinco años mueren cada año por enfermedades diarreicas (OMS/UNICEF 2017); la escasez de agua ya afecta a cuatro de cada 10 personas (OMS); el 90% de los desastres naturales están relacionados con el agua (UNISDR); el 80% de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas (UNESCO, 2017); alrededor de dos tercios de los ríos transfronterizos del mundo no tienen un marco de gestión cooperativa (SIWI).⁵²¹

En este sentido, en la *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* aprobada en 2015 por la Asamblea General de la ONU⁵²², en la que se plantean 17 objetivos y 169 metas, puede señalarse que una parte relevante de estos objetivos y metas están vinculados al ejercicio de la ingeniería ambiental. Esto ocurre de forma directa en los casos: O.6 Agua limpia y saneamiento; O.11 Ciudades y comunidades sostenibles; O.13 Acción por el Clima; O.14. Vida submarina; y O. 15 Vida de Ecosistemas terrestres.

Esto puede permitir hablar de un marco pragmático de la actividad de la ingeniería ambiental en el que la oferta de servicios de la misma está muy por detrás de la demanda, máxime cuando se habla de servicios absolutamente básicos en términos de salud pública y calidad ecosistémica.

Por otra parte, el marco institucional y económico de la ingeniería ambiental sanitaria está relacionado con la complejidad institucional no solamente a nivel internacional, sino también en los distintos niveles institucionales de cada país. Por ejemplo, el marco institucional relacionado con la gestión del agua urbana (por citar el elemento más importante y propio de la actividad de la ingeniería ambiental sanitaria), muestra tales disparidades que están obligando a que la gestión del agua extienda su campo sobre un conjunto de aspectos (actores y relaciones) considerados bajo la denominación ‘gobernanza del agua’.

La noción emergente de gobernanza está procurando considerar no solamente aspectos puramente institucionales, sino también netamente económicos y sociales. Esta expansión del enfoque institucional del agua (y del medio ambiente, en general) está relacionada con la evidencia de que la ingeniería no puede generar solamente soluciones ‘tecnológicas’ sino que debe generar servicios de calidad y sostenibles, y que por tanto deben estar conformes a necesidades objetivas, pero también al contexto y las condiciones.

En cuanto al marco profesional, puede afirmarse que la ingeniería ambiental sanitaria tiene un marco profesional relativamente claro. En la mayor parte de los países (de cultura euroamericana) las actividades enumeradas de la ingeniería ambiental sanitaria están fuertemente profesionalizadas, recayendo casi en su totalidad en la ingeniería civil o en especialidades ambientales de la misma.

Cabe señalar no obstante que la actividad de la ingeniería ambiental sanitaria no se circunscribe a los profesionales de la ingeniería civil, sino que hay otros profesionales (gestores, técnicos, científicos...) que están estrechamente relacionados con la actividad profesional. Sin embargo, es posible establecer una muy buena correlación de la actividad en sí con los profesionales titulados en ingeniería, competentes para participar en todo el ciclo del proyecto de ingeniería ambiental (diseño, ejecución material, prestación del servicio, control y evaluación).

6.2.4.2 Tendencias

A diferencia del apartado ‘orientaciones’ que he tratado anteriormente, donde se incluyen cambios y modificaciones voluntarias y conscientes realizadas por los agentes de la

⁵²¹ Cfr. Datos ONU: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html> (acceso enero 2018).

⁵²² Asamblea General de Naciones Unidas (2015): 70/1. *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015, 40 pp.

ingeniería sanitaria y ambiental, en este caso se trataría de cambios que se observan o se intuyen en los agentes, procesos, o resultados de la práctica del ciclo completo de la ingeniería ambiental.

Entre las tendencias en materia de investigación, desarrollo e innovación pueden señalarse las relativas a la incorporación de nuevos materiales y procesos, entre las que pueden señalarse: el impulso a la biotecnología (como empleo de organismos genéticamente modificados para procesos bioquímicos de biorremediación...), los sistemas ‘inteligentes’ (*Smart cities*...), la identificación de microcontaminantes y contaminantes emergentes, nuevos materiales (de síntesis, nanomateriales).

En los enfoques de las aplicaciones técnicas se observan tendencias (en cierta medida también condicionadas por orientaciones normativas) de integración interdisciplinar de la ingeniería ambiental con: sostenibilidad (adecuación al paradigma de desarrollo sostenible)⁵²³; o con la economía circular y descarbonizada⁵²⁴.

Para concluir este apartado de tendencias, querría exponer un caso interesante que refleja una tendencia desafortunada en la ingeniería ambiental, pero que muy probablemente se esté dando también en otras disciplinas ingenieriles. La tendencia está relacionada con la dinámica actual de las publicaciones técnicas, de la que resulta una generación descontrolada y una deriva del uso de términos técnicos, lo que tiene como resultado práctico el enmarañamiento y oscurecimiento conceptual. Este problema, de naturaleza semántica y epistemológica, se observa bien con el caso de la terminología de drenaje urbano, una de las más importantes áreas de actividad de la ingeniería ambiental sanitaria.

Tanto el concepto de ‘drenaje urbano’ como su estructura y demarcación son de una enorme importancia para la ingeniería ambiental sanitaria e hidrológica. De igual manera, son nociones cada vez más importantes para disciplinas fronterizas –al menos en el nivel alto del ciclo de proyecto– como el urbanismo, la planificación territorial o la economía del desarrollo. Dada esta importancia, podría suponerse que el dominio conceptual del drenaje urbano está bien clarificado y que sus términos componentes elementales (drenaje y urbano) están bien determinados, y que también lo están sus relaciones con otros elementos (saneamiento, depuración, ciclo del agua urbana) y actividades (planificación e ingeniería urbana). Sin embargo, en la práctica se observa que la terminología relativa al drenaje urbano, en parte como consecuencia del crecimiento de la producción tecnocientífica en esta disciplina, se viene desarrollando de manera más informal, generando espacios de potencial confusión y contradicciones terminológicas y metodológicas. Fletcher *et al.* (2015: 526) han destacado claramente este fenómeno para el caso de la gestión del drenaje urbano (*urban drainage management*).

El artículo de Fletcher *et al.* (2015) sobre la evolución y la aplicación de la terminología sobre drenaje urbano⁵²⁵, cuyo título arranca con una ‘sopa de acrónimos’ (SUDS, LID, BMPs, WSUD and more), puede considerarse como un detallado diagnóstico de la enfermedad, del problema. También presenta interesantes reflexiones sobre el origen de este problema de deriva e inconsistencia terminológica (incluso una cierta comprensión por la misma). Sin

⁵²³ Urban *et al.* (2010): “Towards sustainability of engineered processes: Designing self-reliant networks of technological-ecological systems”, *Computers and Chemical Engineering*, 34 (2010), 1413-1420.

⁵²⁴ Cfr. Álvarez-Campana, J.M.; Alcázar, J. y Moreno, D.: “Economía circular y desarrollo sostenible: retos y oportunidades de la ingeniería ambiental”, Comunicación al V Congreso Internacional de Economía, Ecuador-Guayaquil, julio de 2017.

⁵²⁵ Fletcher, T.; Shuster, W.; Hunt, W.F.; Ashley, R.; Butler, D.; Arthur, S.; Trowsdale, S., et al. (2015): “SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage”, *Urban Water Journal*, vol. 12, No. 7, 525-542.

embargo, la parte de discusión, a pesar de su innegable interés, no llega a aportar una solución consistente al problema de la indefinición terminológica.

Estos autores señalan cómo la jerga profesional sirve para mejorar la eficiencia de la comunicación entre profesionales de un campo concreto, y que del uso preciso de la terminología profesional se deriva un mejor manejo de las ideas, conceptos, métodos y técnicas. Ahora bien, aunque hay colectivos profesionales (entre los que merece destacarse el colectivo de la medicina) que realizan esfuerzos progresivos por mantener unos altos niveles internacionales de calidad terminológica y conceptual, esto es menos frecuente en la ingeniería civil y ambiental.

6.2.4.3 Retos

Los retos que se presentan a la ingeniería ambiental están en consonancia con los retos de naturaleza social y medioambiental, dado que esta disciplina técnica y profesional tiene, entre sus cometidos, la mejora de la salud pública y de la calidad ambiental. Puede tomarse como una primera referencia de estos retos los identificados en la agenda de la Unión Europea, en concreto en el Programa Marco de Investigación e Innovación Horizonte 2020⁵²⁶, donde se destacan siete grandes retos, de los cuales cuatro tienen relación con la ingeniería ambiental: Seguridad alimentaria, agricultura y silvicultura sostenibles, investigación marina, marítima y de aguas interiores y bioeconomía; Energía segura, limpia y eficiente; Transporte inteligente, ecológico e integrado; y Acción por el clima, medio ambiente, eficiencia de los recursos y materias primas.

De este último reto, pueden destacarse cuatro acciones estratégicas que tienen una relación directa y estrecha con la ingeniería ambiental: lucha contra el cambio climático y adaptación al mismo; protección del medio ambiente, y gestión sostenible de los recursos naturales, del agua, de la biodiversidad y de los ecosistemas; posibilitar la transición hacia una economía y una sociedad verdes a través de la ecoinnovación; y desarrollo de sistemas completos y duraderos de observación e información sobre el medio ambiente mundial.

De entre estas acciones, la que puede considerarse nuclear a la ingeniería ambiental sanitaria sería la de protección ambiental y gestión sostenible de los recursos naturales, del agua, de la biodiversidad y de los ecosistemas, en donde se enmarcan tres aspectos hacia los que debe priorizarse la investigación y la innovación: 1) profundizar en nuestra comprensión de la biodiversidad y del funcionamiento de los ecosistemas, de cómo interactúan con los sistemas sociales y el papel que desempeñan en el sostenimiento de la economía y el bienestar humano; 2) impulsar planteamientos integrados para abordar los retos relacionados con el agua y la transición hacia una gestión y uso sostenibles de los recursos y servicios hídricos; y 3) proporcionar conocimientos y herramientas que propicien una toma de decisiones eficaz y un compromiso público.⁵²⁷

Además de los retos sociales europeos mencionados, pueden destacarse especialmente (junto al cambio climático global) dos procesos globales de una enorme influencia potencial en la esfera de las actividades de la ingeniería ambiental sanitaria: el crecimiento de la población, y el proceso de urbanización a escala planetaria.

Aunque se observa y se prevé un decrecimiento de la población europea, la tendencia global es la contraria. A mediados del 2015, la población mundial alcanzó los 7.300 millones de personas, lo que significa que, en 12 años, el número de personas en el mundo ha aumentado en 1.000 millones. Está previsto que la población mundial aumente en más de

⁵²⁶ <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/> (acceso enero 2018)

⁵²⁷ Cfr. <http://eshorizonte2020.cdti.es/index.asp?MP=87&MS=718&MN=2&TR=C&IDR=2039> (acceso enero 2018).

1.000 millones de personas en los próximos 15 años, por lo que se alcanzarían los 8.500 millones en 2030, 9.700 millones en 2050 y 11.200 millones en 2100.⁵²⁸

Este importante aumento de la población viene de la mano con un proceso creciente de urbanización. Desde hace apenas unos años, se ha invertido un proceso histórico, de modo que ahora la población urbana supera a la población rural. Los datos oficiales muestran “que más de la mitad de la población mundial vive actualmente en zonas urbanas. Pese a que el número de grandes aglomeraciones urbanas está aumentando, aproximadamente la mitad de los residentes urbanos vive en ciudades y localidades de menor tamaño. Se espera que las zonas urbanas absorban el crecimiento futuro de la población. Han aumentado el alcance y la complejidad de la labor de ordenación de las zonas urbanas, que se ha convertido en uno de los retos más importantes del siglo XXI.”⁵²⁹

Para finalizar, pueden señalarse el conjunto de retos de escala global formulados en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), en la agenda mundial para el 2030. En este sentido, la temática de la ingeniería ambiental sanitaria estaría alineada con cuatro grupos de objetivos de desarrollo sostenible (ODS): agua limpia y saneamiento (ODS6)⁵³⁰; ciudades y comunidades sostenibles (ODS11)⁵³¹; vida submarina (ODS14)⁵³²; y vida de ecosistemas terrestres (ODS15)⁵³³.

⁵²⁸ Cfr. Datos ONU. <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html> (acceso enero 2018).

⁵²⁹ Organización Naciones Unidas (ONU) (2014): *La situación demográfica en el mundo, 2014. Informe conciso*, Nueva York, 38 pp.

⁵³⁰ En relación con las metas: 6.1 Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable; 6.2 Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos; 6.3 Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación; 6.4 Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos; 6.5 Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles; 6.6 Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos; 6.a Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento; y 6.b Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

⁵³¹ En relación con las metas: 11.1 Asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados; y 11.6 Reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.

⁵³² En relación con la meta: 14.1 Prevenir y reducir significativamente la contaminación marina, en particular la producida por actividades realizadas en tierra.

⁵³³ En relación con la meta: 15.1 Velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan.

6.3 PANORAMA DE REFLEXIONES FILOSÓFICAS SOBRE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

En este apartado de reflexiones filosóficas sobre ingeniería sanitaria y ambiental se reúnen diversos materiales editados en los que aparecen distintas reflexiones de naturaleza filosófica sobre ingeniería sanitaria y ambiental, y dada la escasez de las mismas, se amplía a otras disciplinas ingenieriles relacionadas como la ingeniería civil y ambiental. Este apartado se ha dividido en tres partes. La primera, de antecedentes, en donde recojo las escasas aportaciones en reflexiones filosóficas sobre la ingeniería sanitaria (hasta el siglo XX). En la segunda parte, que incluye los trabajos publicados en el siglo XXI, considero trabajos con reflexiones filosóficas sobre ingeniería civil y ambiental, también una limitada de artículos técnicos en donde la reflexión filosófica tiene un papel distintivo y, finalmente, varios trabajos sobre aspectos filosóficos de la ingeniería ambiental sanitaria realizados por el autor. La tercera parte se dedica a explorar reflexiones filosóficas que se han realizado –con mayor intensidad– en una serie de campos disciplinares (no ingenieriles) relacionados con la ingeniería sanitaria y ambiental. Estas reflexiones permiten aflorar métodos, enfoques y conceptos que pueden tener relevancia en los procesos subsiguientes de elucidación filosófica.

6.3.1 Antecedentes (s. XX) de reflexiones filosóficas sobre ingeniería sanitaria

En los antecedentes de reflexión filosófica sobre la ingeniería apenas se encuentran referencias, no ya de la ingeniería sanitaria, sino prácticamente tampoco de las grandes disciplinas ingenieriles a que pertenece, como la ingeniería civil o la ingeniería ambiental. Si las aproximaciones filosóficas a la ingeniería han sido muy reducidas, aún lo han sido menos las aproximaciones a disciplinas concretas, y cuando se dan, se trata de casos muy puntuales, o incluso solamente ejemplos.

Algunas débiles referencias filosóficas sobre la ingeniería aparecen como ejemplos en el marco de reflexiones filosóficas sobre tecnología. Así, cuando Mario Bunge (1963) está hablando de la paradoja del tecnólogo, utiliza la evolución de la ingeniería hidráulica como ejemplo. De acuerdo con Bunge “la paradoja consiste en la incompatibilidad del máximo conocimiento con la máxima eficacia. La habilidad del tecnólogo consistirá en lograr *la máxima eficacia con el mínimo conocimiento posible* (es decir, con ayuda del modelo teórico más simple).”⁵³⁴ Esta paradoja se representa con una descripción de la ingeniería hidráulica:

La tarea del tecnólogo experimental consiste, pues, en poner a prueba modelos tecnológicos teóricos con ayuda de modelos materiales. Pero esta tarea es precedida por la construcción de modelos tecnológicos teóricos que, como hemos visto, suelen diferir de los modelos científicos, aunque sólo sea porque deben hacer lugar a un mayor número de variables. Piénsese en el caso del ingeniero hidráulico de comienzos de siglo: por una parte, disponía de un cúmulo de conocimientos prácticos inconexos; por la otra, tenía a la vista la hidrodinámica clásica, proeza matemática que trata de fluidos ideales (sin viscosidad) y que, por tanto, es incapaz de dar cuenta de fenómenos tan obvios como la resistencia de un cuerpo que cae en el seno de un fluido. El hidráulico práctico se contentaba entonces con un conjunto de reglas empíricas halladas en muchos casos por artesanos; de todas maneras, la hidrodinámica le exigía un esfuerzo matemático desproporcionado con su utilidad práctica. Pero estas reglas empíricas son superficiales, cubren clases restringidas de hechos, y no tienen en cuenta fenómenos a primera vista secundarios, tales como la turbulencia, pero que en realidad son muy importantes para grandes velocidades. La tarea del ingeniero hidráulico desde principios del siglo hasta el momento ha

⁵³⁴ Bunge, M. (1963) “Tecnología, ciencia y filosofía”, Anales de la Universidad de Chile, enero-abril 1963, p. 87.

sido, entonces, acercar la hidráulica práctica a la teoría hidrodinámica, tornando a ésta cada vez más realista. Y aquí se presenta una dificultad: a medida que una teoría se hace más realista, se hace también más complicada; pero a medida que se hace más complicada se hace menos práctica.⁵³⁵

En este mismo sentido, por ejemplo, en Tokaty (1971) aparece una de las pocas referencias con contenidos filosóficos sobre elementos de la ingeniería civil, en este caso es un estudio histórico-filosófico sobre una teoría ingenieril, como es el caso de la mecánica de fluidos⁵³⁶.

Otro caso sería el de Bruce Seely (1984, 1988), quien ha examinado, desde una perspectiva histórica y epistemológica, el intento fallido de los ingenieros de caminos (*highway engineers*) por reconstruir por completo la investigación en carreteras en términos científicos durante el período de ‘euforia procientífica’ que sigue a la I Guerra Mundial. El primer trabajo de Seely (1984) es un extenso artículo⁵³⁷ en la revista *Technology & Culture*; mientras que el segundo (1988) es una publicación detallada relativa a la construcción del sistema norteamericano de autopistas⁵³⁸.

Si bien no pueden considerarse propiamente como antecedentes de una filosofía de la ingeniería ambiental, sí que pueden citarse aquí algunas de las contribuciones más importantes realizadas a principios de los años noventa, desde una perspectiva filosófica, sobre las conexiones entre ecología y tecnología. Los trabajos de *Papers from 1993 Peniscola (Spain) Meeting*, publicados⁵³⁹ en la revista de la *Society for Philosophy and Technology*, constituyen una visión amplia de cuestiones con un especial valor tecnológico y ambiental.

Están los trabajos presentados por Albert A. Anderson “Why Prometheus Suffers: Technology and the Ecological Crisis”, por Stanley R. Carpenter “When are Technologies Sustainable?”, por César Cuello Nieto y Paul T. Durbin “Sustainable Development and Philosophies of Technology”, por Dick G. A. Koelega “Technology, Ecology, Autonomy and the State”, por Friedrich Rapp “Explosion of Needs, Quality of Life, and the Ecology Problem”, y por Raphael Sassower “Intellectual Responsibility for an Ecology Agenda”.

Como conclusión previa, puede afirmarse que en el período de antecedentes analizado (hasta finales del XX) no se cuenta con ninguna filosofía, ni aproximación filosófica destacable, ni por tanto tampoco elucidación filosófica, no ya sólo de la ingeniería sanitaria, sino tampoco a la ingeniería civil, ni a la ingeniería ambiental; es más, prácticamente ni siquiera de la ingeniería entendida en el sentido más amplio.

6.3.2 Reflexiones filosóficas (s. XXI) sobre ingeniería sanitaria y ambiental

Como ya se visto en los antecedentes, son muy escasas las aportaciones de orden filosófico tanto sobre las disciplinas de ingeniería civil e ingeniería ambiental como sobre la ingeniería sanitaria. Algo semejante continúa ocurriendo ya durante el siglo XXI, de modo que lo que entendemos como ‘estado actual’ de reflexiones filosóficas sobre cuestiones de ingeniería civil y ambiental continúa con la misma debilidad que en los antecedentes.

Desde el momento en que no se dispone de investigaciones filosóficas completas, no sólo sobre la ingeniería sanitaria, sino sobre ingeniería civil e ingeniería ambiental, sólo cabe incluir en este apartado tres conjuntos de referencias datadas ya en el siglo XXI. En primer

⁵³⁵ Bunge, M. (1963) “Tecnología, ciencia y filosofía”, p. 86-87.

⁵³⁶ Tokaty, G.A. (1971): *A History and Philosophy of Fluids Mechanics*, ed. G.T. Foulis & Co. (New York, Dover, 1994).

⁵³⁷ Seely, B.E. (1984): “The Scientific Mystique in Engineering: Highway Research at the Bureau of Public Roads, 1918-1940”, *Technology & Culture*, 25: 798-831.

⁵³⁸ Seely, B.E. (1988): *Building the American Highway System: Engineers as Policymakers*, Philad., Temple Univ. Press.

⁵³⁹ Véase: *Techné: Journal of Society of Philosophy and Technology*, vol. 1, nº 1-2, Fall 1995.

lugar, aquellos trabajos de enfoque filosófico que toman como objeto cuestiones ingenieriles civiles y sanitarias (ej. la ciencia de materiales) publicadas en revistas filosóficas. Posteriormente se incluyen referencias sobre trabajos de naturaleza científica y técnica en relación con aspectos de estas ingenierías (construcción, agua, medio ambiente...) publicados en revistas científicas o técnicas, pero en los que en alguna medida las novedades del trabajo tienen un apoyo filosófico. En tercer lugar, incluyo un conjunto de comunicaciones relativas específicamente a filosofía de la ingeniería ambiental, que han sido elaboradas por el autor de este trabajo.

6.3.2.1 Trabajos de enfoque filosófico en cuestiones de ingeniería civil y ambiental

En los últimos años, junto a la continuidad de las reflexiones sobre ética y pedagogía de la ingeniería general (que se tratarán en el apartado oportuno), pueden señalarse algunos trabajos sobre aspectos filosóficos de cuestiones concretas de orden ingenieril (civil y ambiental), como pueden ser las reflexiones sobre resistencia de materiales. La resistencia de materiales es una de las cuestiones que está siendo (y que ha sido) tratada con más detalle cuando se ha enfocado filosóficamente el mundo ingenieril, particularmente el mundo de la ingeniería civil.

Deben destacarse los importantes trabajos de Ana Cuevas en este sentido: “Las ciencias ingenieriles como ‘ciencias para la aplicación’: el caso de la resistencia de materiales” (2003)⁵⁴⁰, en que desde el marco de la filosofía analítica, despliega el potencial de este método de análisis para analizar los fundamentos teóricos (como conocimientos explícitos) sobre el comportamiento de los materiales empleados en las actividades de construcción; “El papel de las ciencias ingenieriles en el desarrollo de nuevas tecnologías” (2005)⁵⁴¹ en donde se estudia el caso de la resistencia de materiales y su vinculación y desarrollo con la difusión del ferrocarril.

6.3.2.2 Artículos científicos y técnicos con apoyo de enfoque filosófico

He seleccionado, como ejemplos, una serie de artículos científicos y técnicos que tratan de cuestiones importantes de la ingeniería ambiental, y que para este tratamiento emplean y explicitan cuestiones filosóficas de una apreciable relevancia aplicadas en la investigación de: modelos informáticos en medio ambiente, biotecnologías para el tratamiento de las aguas residuales urbanas... Este tipo de artículos ejemplifican cómo el enfoque filosófico puede tener una directa y clara aplicación a la mejora de la comprensión y análisis de problemas de naturaleza técnica.

El hidrólogo Keith Beven expone en su artículo “Towards a coherent philosophy for modelling the environment” (2002), la importancia de que la investigación teórica y aplicada en modelos informáticos y matemáticos de los sistemas naturales (ecosistemas) se acompañe de un proceso reflexivo de naturaleza filosófica. Como expresa Beven: “La filosofía predominante que subyace a la mayoría de los modelos ambientales es una forma de realismo pragmático. Se discuten las limitaciones de este enfoque en aplicaciones prácticas, en particular, en relación con cuestiones de escala, no linealidad y singularidad del lugar. Se esboza un nuevo enfoque que surge del concepto de equifinalidad de los modelos (...) El enfoque combina elementos de instrumentalismo, relativismo, bayesianismo y pragmatismo,

⁵⁴⁰ Cuevas, A. (2003): Las ciencias ingenieriles como ‘ciencias para la aplicación’: el caso de la resistencia de materiales”, *Argumentos de Razón Técnica*, N° 6 (2003), pp. 161-180.

⁵⁴¹ Cuevas, A. (2005): “El papel de las ciencias ingenieriles en el desarrollo de nuevas tecnologías”, *Revista Laguna*, 16; marzo 2005, pp. 45-58.

al tiempo que permite la postura realista que subyace en gran parte de la práctica del modelado ambiental. Puede ser una filosofía provisional que está a la espera de desarrollos en la técnica de medición para permitir un mayor refinamiento, pero que permite una orientación coherente sobre cómo ser específico en la presentación de predicciones para los usuarios finales.”⁵⁴² Otros recientes trabajos sobre hidrología de Keith Beven que incluyen enfoques filosóficos (epistemológico y semántico) serían: “On the colour and spin of epistemic error (and what we might do about it)” (2011)⁵⁴³; “A guide to good practice in modeling semantics for authors and referees” (2013)⁵⁴⁴; “So how much of your error is epistemic?: lessons from Japan and Italy” (2013)⁵⁴⁵.

Pasando del campo de la hidrología al de la ecología microbiana, puede destacarse el artículo de Curtis, Head y Graham (2003) titulado “Theoretical Ecology for Engineering Biology. Are we standing on the threshold of a renaissance in designing biological systems?”⁵⁴⁶. La pregunta formulada sobre si estamos en el umbral de un renacimiento de los sistemas biológicos, se refiere a sistemas ingenieriles basados en procesos biológicos, y más concretamente a los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales urbanas.

Los autores señalan que los mayores avances teóricos en ingeniería del tratamiento de aguas residuales son de la década de los 1960, y que desde entonces: los enfoques trataron la biomasa del proceso como si fuera una población independiente (aunque realmente es una comunidad compleja de poblaciones que interactúan); se derivaron ecuaciones utilizables basadas en bioquímica enzimática y cinética microbiana que permiten la predicción de variables clave del proceso; y se describieron dos sistemas biológicos muy diferentes (aeróbico y anaeróbico).

Ante esta situación, Curtis *et al.* (2003) advierten que la existencia de avances científicos y técnicos en microbiología y ecología permitiría una revisión teórica –optimizada– de los sistemas biológicos de tratamiento que estarían caracterizados por un desarrollo práctico muy dilatado pero por una escasa actualización científica y técnica; por lo que responden a su pregunta afirmando que el renacimiento de los sistemas de ingeniería biológica “no se basa en un solo método o tecnología, sino en una síntesis de desarrollos aparentemente dispares en la teoría ecológica, la ecología microbiana molecular y lo mejor de la filosofía de la ingeniería” (Curtis *et al.*, 2003:70).

6.3.2.3 Comunicaciones del autor sobre filosofía de la ingeniería ambiental

En los últimos años (desde el año 2014) se han venido realizando (por el autor de este trabajo) una serie de contribuciones específicas de naturaleza filosófica al campo de la ingeniería ambiental sanitaria. Las comunicaciones se han realizado en el contexto de congresos nacionales e internacionales de ingeniería ambiental, de medio ambiente, y de patrimonio cultural. Se ha buscado con éstas, de una forma sencilla, la apertura de reflexiones filosóficas explícitas acerca de materias técnicas y científicas que, habitualmente, están distanciadas de los escenarios de reflexión filosófica.

⁵⁴² Beven, K. (2002): “Towards a coherent philosophy for modelling the environment”, *Proc. Royal Society London. A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 458, pp. 1–20.

⁵⁴³ Beven, K. (2011): “On the colour and spin of epistemic error (and what we might do about it)”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, pp. 3123–3133.

⁵⁴⁴ Beven, K. (2013): “A guide to good practice in modeling semantics for authors and referees”, *Water Resources Research*, 8 49, pp. 5092–5098.

⁵⁴⁵ Beven, K. (2013): “So how much of your error is epistemic?: lessons from Japan and Italy”, *Hydrological Processes*, 27, pp. 1677–1680.

⁵⁴⁶ Curtis, T.P.; Head, I.M. & Graham, D.W. (2003): “Theoretical Ecology for Engineering Biology. Are we standing on the threshold of a renaissance in designing biological systems?”, *Environ. Sci. Technol.*, 37 (3), pp. 64A–70A.

Son una serie de contribuciones que forman, de alguna manera, partes de este conjunto de la investigación presente, por lo que su desarrollo y definición más detallada se realizará posteriormente, tanto en el desarrollo metodológico como en la aplicación o estudio de caso.

Pueden señalarse entre estos trabajos: “Enfoque filosófico de la ingeniería ambiental sanitaria: una aportación para una gobernanza más sostenible del ciclo del agua urbana” en Álvarez-Campana *et al.* (2014)⁵⁴⁷, en donde se exploran las potencialidades del análisis filosófico de la actividad de la ingeniería sanitaria, de cara a realizar contribuciones lo más consistentes posibles en materia de una gobernanza más sostenible del ciclo del agua urbana. En esta comunicación se incide en la importancia del análisis filosófico al servicio de la mejora de la investigación y aplicación en sectores tradicionalmente alejados de este tipo de análisis, como es el ingenieril. En el trabajo se propone –en lo que puedo conocer, por vez primera– una caracterización de la ingeniería ambiental sanitaria a partir de las propuestas filosóficas de Quintanilla (2005), de modo que “la ingeniería ambiental sanitaria puede concebirse como un conjunto de sistemas tecnológicos complejos, diseñados, ejecutados y gestionados por técnicos en ingeniería civil, que operan transformaciones con artefactos, sobre componentes del medio ambiente (aguas, atmósfera y suelos) impactados por actividades de la población urbanizada, para garantizar de forma eficiente e innovadora la salud y la calidad ambiental, tanto de la población como del medio ambiente, bajo criterios de sostenibilidad.”

Otro de los trabajos de este epígrafe sería “Marco conceptual dinámico de la ingeniería ambiental sanitaria: cambios ontológicos, epistemológicos y axiológicos en la formación de la ingeniería sanitaria (s. XVIII-XIX)”, en Álvarez-Campana *et al.* (2016)⁵⁴⁸ en donde se propone una reconstrucción histórica analizando los cambios de los aspectos más importantes de la actividad de la ingeniería sanitaria desde una perspectiva filosófica (ontología, epistemología y axiología).

Un tercer trabajo de este grupo es “Propuesta de un modelo axiológico relacional: evaluación ambiental de obras de ingeniería, binomio población-territorio, y patrimonio industrial y de obra pública”⁵⁴⁹ en Álvarez-Campana *et al.* (2017). Una propuesta en donde el enfoque filosófico, específicamente el axiológico, de la ingeniería civil y ambiental, permite facilitar la elaboración de un modelo relacional, así como analizar las interrelaciones (positivas y negativas) de valores de cara a realizar una reconstrucción más adecuada de los equilibrios y tensiones entre los diferentes agentes participantes (o interesados) en la transformación del territorio mediante la construcción de infraestructuras e instalaciones que pueden –eventualmente– llegar a adquirir la condición de patrimonio industrial y de obra pública.

⁵⁴⁷ Álvarez-Campana, J.M.; Suárez, J. y Jácome, A. (2014): “Enfoque filosófico de la ingeniería ambiental sanitaria: una aportación para una gobernanza más sostenible del ciclo del agua urbana”, Comunicación al XXXIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AMICA – AIDIS, Monterrey, México.

⁵⁴⁸ Álvarez-Campana, J.M.; Suárez, J. y Jácome, A. (2016): “Marco conceptual dinámico de la ingeniería ambiental sanitaria: cambios ontológicos, epistemológicos y axiológicos en la formación de la ingeniería sanitaria (s. XVIII-XIX)”, Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), Madrid (15 pp.)

⁵⁴⁹ Álvarez-Campana, J.M.; Alcázar, J. y Moreno, D. (2017): “Propuesta de un modelo axiológico relacional: evaluación ambiental de obras de ingeniería, binomio población-territorio, y patrimonio industrial y de obra pública”, Comunicación al VII Congreso TICCIIH As Pontes (A Coruña, España), 5-8 de julio de 2017. VII Congreso para la conservación del patrimonio industrial y de la obra pública en España. The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage (TICCIIH).

El último de los trabajos presentados es “Un marco conceptual científico-filosófico para la ingeniería ambiental sanitaria”⁵⁵⁰ (Álvarez-Campana, 2018). Un trabajo en el que “lo que se pretende configurar es una red conceptual en donde se integren los conceptos más relevantes de las disciplinas científicas que fundamentan la ingeniería ambiental sanitaria. La elaboración de este tipo de redes conceptuales, que puede considerarse una novedad metodológica, nos va a permitir disponer de un marco conceptual interdisciplinar, articulado, de conceptos científicos clave de fundamental relevancia para una más clara visión filosófica (y por tanto, también tecnológica) de la ingeniería ambiental sanitaria. Sin embargo, todo esto no deja de ser un paso más en la tarea, aún pendiente, de una elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria”.

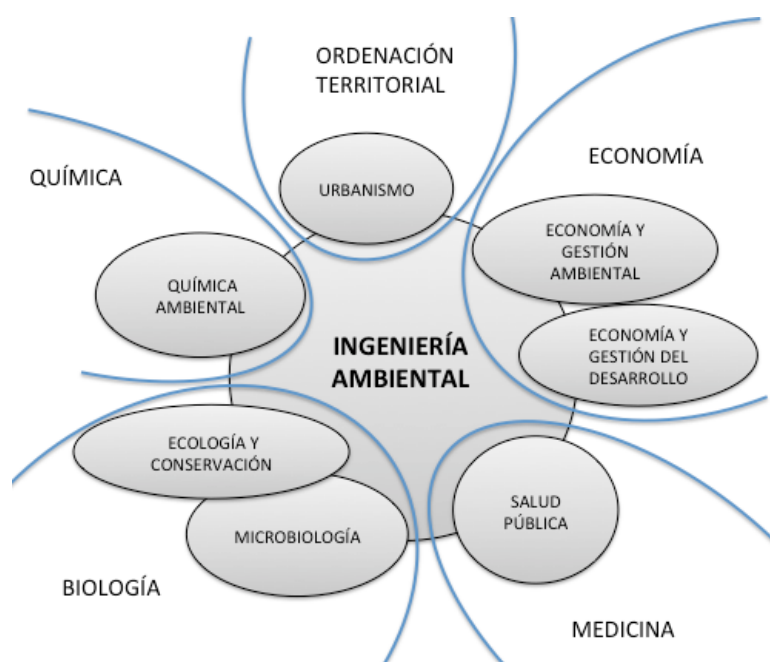


Fig. 6.3.2.a) Disciplinas y especialidades (no ingenieriles) fronteras de la ingeniería ambiental sanitaria (en Álvarez-Campana, 2018)

6.3.3 Reflexiones filosóficas en disciplinas fronteras de la ingeniería ambiental

La escasez de reflexiones filosóficas específicas sobre ingeniería civil y ambiental sanitaria hace interesante revisar también las reflexiones filosóficas elaboradas en las disciplinas científicas y técnicas que pueden llegar a considerarse fronteras –cuando no componentes parciales– de la ingeniería ambiental sanitaria. Desafortunadamente, uno de los efectos que tiene la escasa reflexión filosófica (así como la sociológica) realizada sobre la ingeniería ambiental es, también, la ausencia de estudios sobre los campos disciplinares y de relaciones entre campos. Fuera de la esfera de la investigación filosófica, tampoco es que las clasificaciones referenciales de ciencias y técnicas (con el ejemplo más destacado de la vigente clasificación UNESCO) aporten información para este respecto, puesto que estas clasificaciones (numéricas o alfanuméricas) no desvelan apenas interrelaciones entre las disciplinas o subdisciplinas científicas y técnicas.

⁵⁵⁰ Álvarez-Campana, J.M. (2018): “Un marco conceptual científico-filosófico para la ingeniería ambiental sanitaria”, Comunicación al XXXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), celebrado del 28 al 31 de octubre de 2018 en Guayaquil (Ecuador).

Aunque más adelante se va a proponer una investigación detallada de los campos disciplinarios que están relacionados con la ingeniería ambiental sanitaria, voy a avanzar seis disciplinas que, con alta probabilidad, pueden encontrarse en la proximidad del núcleo científico y tecnológico de la ingeniería ambiental sanitaria. Hago esto en la medida en que hay actividades científicas y técnicas en la proximidad de la ingeniería sanitaria que sí parecen estar siendo objeto de ciertas consideraciones filosóficas. Ahora bien, para que haya una cierta correspondencia, y considerando que ingeniería ambiental sanitaria como una disciplina, voy a ocuparme de las reflexiones filosóficas sobre actividades al nivel equivalente de disciplinas. Dejo para más adelante, cuando analice la ingeniería en general, la exposición del estado de reflexiones filosóficas sobre otros campos (medicina, arquitectura...) de un orden similar.

De acuerdo con lo anterior, voy a exponer el estado actual de reflexiones filosóficas sobre las siguientes disciplinas: salud pública (del campo de la medicina); servicios urbanos (del campo de la arquitectura y urbanismo); microbiología y ecología de la conservación (ambas del campo de la biología); y economía y gestión ambiental, y economía y gestión del desarrollo (del campo de la economía).

Como referencia del estado actual de reflexión sobre estas actividades –en particular de los aspectos fronterizos o netamente incluidos en la materia de la ingeniería ambiental sanitaria- se ha tomado en todo caso la información disponible en Stanford Encyclopedia of Philosophy (SEP); así como en *A Companion to Environmental Philosophy* (2001) y *A Companion to the Philosophy of Technology* (2009). Esta decisión intenta que la descripción del estado actual de las investigaciones filosóficas sobre las distintas materias que se van a señalar no esté sesgada por una mayor o menor disponibilidad de información sobre las mismas, tratando de evitar su sobre o infrarrepresentación.

Como puede observarse, la selección que hago del tratamiento filosófico que se está dando en estas disciplinas no es genérica, sino que intenta en la medida de lo posible identificar y extraer los conceptos clave, conceptos propios de esas disciplinas, que a su vez pueden tener un especial interés de cara a potenciales reflexiones filosóficas sobre la ingeniería ambiental sanitaria. Este potencial puede advertirse en la figura adjunta, en donde se incluyen algunas de las disciplinas fronterizas de la ingeniería ambiental sanitaria.

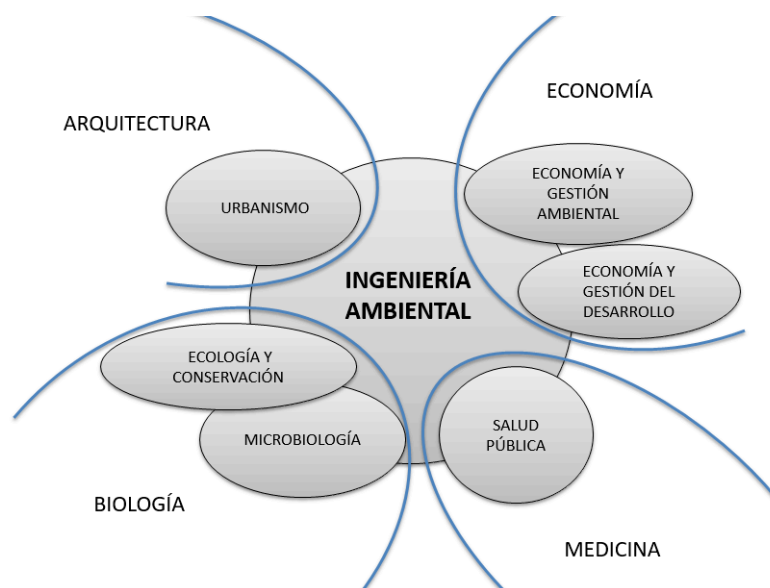


Fig. 6.3.3.a) Disciplinas (no ingenieriles) en campos fronterizos con la ingeniería sanitaria y ambiental

6.3.3.1 La salud pública desde el campo de la medicina

Se entiende pertinente la consideración de cuestiones de la filosofía de la medicina en términos generales⁵⁵¹, pero específicamente en la disciplina médica de la salud pública, por cuanto esta actividad comparte elementos nodulares con la ingeniería civil y ambiental sanitaria como: fundamento en el diseño ingenieril y la planificación, operaciones sobre medios urbanizados, e incluso el empleo de tecnologías constructivas para conseguir los resultados pretendidos de mejora de las condiciones de salubridad.

La salud pública es una disciplina de la medicina que en lo esencial se preocupa por promover y mejorar la salud, en el más amplio sentido, de las poblaciones. De acuerdo con Faden y Shebaya (2016), en la entrada “Public Health Ethics”⁵⁵² de la SEP, la salud pública tiene cuatro características de particular interés para su revisión desde la perspectiva ética (como objeto del trabajo): (1) es un bien público o colectivo; (2) su promoción implica un enfoque particular en la prevención; (3) su promoción a menudo implica una acción del gobierno; y (4) implica intrínsecamente una orientación hacia resultados.

La problemática de la salud pública está muy estrechamente relacionada con la de la población. Una cuestión que ha sido revisada, entre otros, por Wolf (2001), quien revisa la población en el marco de la filosofía ambiental, considerando aspectos como: las discusiones clásicas sobre la población (Condorcet y Malthus); el debate contemporáneo (población, desarrollo y medio ambiente); la vinculación entre fertilidad y desarrollo; la teoría de la población y la moral; y sobre ética de la población y filosofía ambiental.⁵⁵³

Entre los conceptos clave con relevancia filosófica a los efectos del estado actual de la cuestión podrían destacarse: salud, calidad de vida, poblaciones humanas, enfermedades ambientales y toxicidad ambiental.

6.3.3.2 Urbanismo (servicios urbanos) desde el campo de la arquitectura

El urbanismo, como una disciplina habitualmente integrada en la arquitectura, se encuentra, como ésta, en la proximidad de la ingeniería civil. De hecho, la arquitectura o las intervenciones de magnitud en las ciudades –por tanto, de naturaleza urbanística– han estado desde su origen muy estrechamente relacionado con las actividades de la ingeniería civil, con la que comparten muchas tecnologías constructivas.

Se entiende pertinente la consideración de cuestiones de la filosofía en la arquitectura, y específicamente en el urbanismo (en tanto servicios urbanos), por cuanto esta actividad comparte elementos nodulares con la ingeniería civil y ambiental sanitaria como: fundamento en el diseño ingenieril y la planificación, operaciones sobre medios urbanizados (ciudades), así como el empleo básico de tecnologías constructivas. Pero en este punto, interesa destacar las reflexiones filosóficas del mundo de la arquitectura que hayan podido interesar especialmente a la concepción de la ciudad, en su relación con el medio ambiente, y por tanto con los medios naturales (agua, suelo y aire).

⁵⁵¹ Pueden verse: “Medicina y filosofía” (Peña, 2004), “Philosophy of Medical Technology” (Hansson, 2009), y especialmente *Filosofía para médicos* (Bunge, 2012).

⁵⁵² Faden, R. & Shebaya, S. (2016): “Public Health Ethics”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.).

⁵⁵³ Cfr. Wolf, C. (2001): “Chapter 25. Population”, pp. 362-376, in Jamieson, D. (2001) *A Companion to Environmental Philosophy*, Blackwell Publishers Ltd.

Del artículo de Fisher (2016) en la SEP sobre filosofía de la arquitectura⁵⁵⁴, pueden señalarse una serie de aspectos específicos que tienen una relevancia destacable para el tratamiento de la ingeniería ambiental sanitaria: los tipos de ontologías arquitectónicas; y especialmente el debate entre ‘ambiente construido’ versus ‘ambiente natural’.

El ambiente construido, lo que es el mundo de los edificios y las ciudades, produce un impacto ambiental de primera magnitud. No tanto en cuanto a la superficie realmente ocupada, sino por la concentración en términos de población (más de la mitad de la población mundial vive en ciudades), de consumo de materiales y energía (más de un tercio del total del consumo se produce en las ciudades), y de actividades socioeconómicas, que inducen lo que en términos científicos se denomina como ‘huella ecológica’ (conversión a superficie del total de los usos y consumos de la población). Por su magnitud e importancia cualitativa, el medio construido ha encontrado un lugar en las preocupaciones de la filosofía de la tecnología, como puede verse en Illies (2009) con su texto “Built Environment”⁵⁵⁵ en donde repasa algunos de los problemas vinculados con este modo de ocupación del territorio, tanto en su fase de construcción como en la de operación de los complejos urbanos. Una compleja problemática (impactos ambientales, consumo, sobrepoblación, transporte, degradación de la calidad...) que enlaza con cuestiones de otras disciplinas que aquí ya se están considerando (salud pública, gestión ambiental y economía del desarrollo).

En este texto se mencionan tres razones que están detrás del conflicto abierto: ambiente construido versus ambiente natural. La primera sería la ignorancia y dificultad en predecir (cuantitativa y cualitativamente) las consecuencias futuras de las innovaciones tecnológicas y del medio construido. La segunda estriba en la de discernir muchas influencias destructivas, que se producen gradual y muy lentamente. Esto es lo que se conoce como ‘síndrome de la rana hervida’ (*Boiled Frog Syndrome*)⁵⁵⁶, donde el animal sumergido en el agua se va adaptando progresivamente al incremento de temperatura, hasta su final. La tercera de las razones, algo más intrincada, es que ese conflicto puede ser el resultado de intentos encomiables, como exigencia moral, por satisfacer las necesidades humanas (refugio, vivienda, agua, energía...) de una manera eficiente y a gran escala.⁵⁵⁷

Se observa en este caso cómo la reflexión filosófica⁵⁵⁸ desvela algunas de las causas que han estado detrás del deterioro de la calidad ambiental urbana y de los impactos negativos del complejo proceso de urbanización, tanto a escala local como global.

Los conceptos clave, con relevancia filosófica, del estado actual de la cuestión serían: ordenación urbana, crecimiento urbano, servicios urbanos y necesidades humanas.

6.3.3.3 Microbiología desde el campo de la biología

La microbiología tiene un papel fundamental en la comprensión de los fenómenos de salud pública y de contaminación ambiental. Hasta el punto de que cuando se han propuesto (Melosi, 2000) períodos cronológicos de la ingeniería sanitaria se ha utilizado el estado de conocimiento microbiológico para delimitar esos períodos (separando la ‘era de las miasmas’ de la microbiológica, a finales del siglo XIX). En este sentido se entiende que algunas de las reflexiones filosóficas sobre la microbiología, que estarían enmarcadas en la más amplia –y

⁵⁵⁴ Fisher, Saul (2016): "Philosophy of Architecture", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.). (acceso nov. 2017).

⁵⁵⁵ Illies, C. (2009): "Built Environment", pp. 289-294, in: *A Companion to the Philosophy of Technology*.

⁵⁵⁶ Para más detalle, partir de la referencia original: Saunders, T. (2002): *The Boiled Frog Syndrome: Your Health and the Built Environment* (Chichester: Wiley-Academy), citada en Illies (2009:294).

⁵⁵⁷ Cfr. Illies, C. (2009): "Built Environment", p. 292.

⁵⁵⁸ Véase también Illies, C. & Ray, N. (2009): "Philosophy of Architecture".

bien consolidada— filosofía de la biología, pueden tener interés de cara al proceso de elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria.

La microbiología resulta, por otra parte, esencial para el diseño de procesos biológicos de depuración y descontaminación de las aguas (especialmente), así como del aire, de los suelos y al menos también para el tratamiento de las fracciones biodegradables de los residuos sólidos.

Los conceptos clave, con potencial relevancia filosófica, para establecer el estado actual de la cuestión serían: metabolismo microbiano, biotoxicidad y biodegradabilidad.

6.3.3.4 Ecología y biología de la conservación, desde el campo de la biología

Del conjunto de las diversas subdisciplinas de la ecología (ecología de poblaciones, ecología de comunidades, ecología de conservación, ecología ecosistémica, ecología espacial, y ecología del paisaje, entre otras), la que presenta mayor interés potencial para la ingeniería ambiental es el de la ecología ecosistémica, por cuanto permite la consideración del espacio de intervención (medio ambiente) de la ingeniería ambiental en términos ecosistémicos.

De acuerdo con Sarkar (2016) la ecología ecosistémica, como el resto de las subdisciplinas ecológicas, asume que: 1) las diferentes biotas interactúan de forma que pueden ser descritos con suficiente precisión y generalidad para permitir su estudio científico; y 2) las interacciones ecológicas establecen un escenario para que en primer lugar se produzca la evolución, ya que proporcionan el componente externo a que se enfrenta la aptitud de la entidad. Un aspecto que le da a la ecología una posición central en la biología. Sin embargo, incluso dentro de la filosofía de la biología, la ecología ha recibido muy poca atención filosófica en comparación con otras disciplinas. Sobre todo, si se tiene en cuenta que hay cuestiones fundamentales y conceptuales dentro de la ecología (como el problema de la biodiversidad-estabilidad) que podrían aclararse mediante el análisis filosófico, y que la ecología es relevante en relación con cuestiones de indudable calado como son el bienestar humano y la biodiversidad.⁵⁵⁹

La biodiversidad es un elemento central en la ecología aplicada, y que como tal vienen siendo incluida específicamente en la agenda de investigación de la filosofía ambiental, como puede verse en Rolston (2001), quien reflexiona sobre cuestiones como: salvar especies para las personas; ¿una ética para las especies?; la amenaza de extinción; preguntas sobre hechos como ¿qué son las especies?; cuestiones éticas como ¿deberían salvarse las especies?; especies en los ecosistemas; extinciones naturales y causadas por el ser humano; o el respeto por la vida (biodiversidad y rareza).⁵⁶⁰

Precisamente, en relación con la pérdida global de biodiversidad, aparece en la década de los años ochenta una nueva disciplina biológica: la biología de la conservación, cuyo objeto es el conocimiento de las causas de la pérdida de biodiversidad en todos sus niveles (genético, individual, comunidad, especie, ecosistema), así como las posibles medidas para la recuperación de la biodiversidad. Se trata de una nueva disciplina orientada a la investigación de la conservación. De ahí que la misma tenga una importancia determinante en los aspectos de la ingeniería ambiental que considera tanto los aspectos de las interrelaciones de las actividades humanas productivas y el medio ambiente, como las intervenciones de restauración ambiental y conservación de la naturaleza.

⁵⁵⁹ Cfr. Sarkar, Sahotra (2016): "Ecology", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/ecology/>>.

⁵⁶⁰ Cfr. Rolston, H. (2001): "Chapter 28. Biodiversity", pp. 402-415, in Jamieson, D. (2001) *A Companion to Environmental Philosophy*, Blackwell Publishers Ltd.

La entrada “Conservation Biology” de Odenbaugh (2016) en SEP, considera tres cuestiones filosóficas de la biología de la conservación. Comienza con una cuestión ontológica de la disciplina: ¿qué es la biodiversidad?, seguida de una serie de reflexiones sobre su consideración. En segundo lugar, desde el punto de vista epistemológico y metodológico, expone varios estudios de caso importantes de modelos (de poblaciones, del equilibrio de la biogeografía de las islas), así como el de la planificación sistemática de la conservación. En tercer lugar, considera los fundamentos axiológicos de la disciplina, exponiendo que, aunque el punto de partida de la biología de la conservación se basa en el valor intrínseco de los sistemas ecológicos, es una posición que ya está siendo desafiada por los nuevos conservacionistas.⁵⁶¹

Los fundamentos axiológicos de la biología de la conservación, como los de la ecología ecosistémica, están englobados en el campo filosófico, ya relativamente desarrollado de la ética ambiental, que se va a considerar más adelante, y donde la obra de la filósofa Shrader-Frechette y del ecólogo McCoy *Method in Ecology: Strategies for Conservation* (1993) es una referencia de primera magnitud⁵⁶². En este mismo sentido pueden destacarse los análisis de Shrader-Frechette (2001) de la ecología desde la filosofía ambiental⁵⁶³.

Los conceptos clave con relevancia filosófica a los efectos de esta determinación del estado actual serían: biodiversidad, calidad ambiental, ecosistemas, y conservación.

6.3.3.5 Economía y gestión ambiental, desde el campo de la economía

La economía y gestión del medio ambiente es una actividad multidisciplinar, que está fundamentalmente comprendida en el campo profesional de la ingeniería ambiental, y por tanto orientada a la protección del medio ambiente. Aunque la actividad de gestión del medio ambiente –como pasa con el resto de las áreas de la ingeniería ambiental– no ha sido prácticamente objeto de consideraciones filosóficas, sí que lo han sido aspectos del medio ambiente: empezando por el propio concepto de medio ambiente, y siguiendo por cuestiones que constituyen una preocupación social de primera magnitud como son los riesgos de naturaleza ambiental (contaminación, residuos peligrosos, radiación...). En estas materias, la ética ambiental como campo de reflexión filosófica, tiene un valor determinante⁵⁶⁴.

La ética ambiental estudia la relación moral de los seres humanos, y también el valor y el estado moral del medio ambiente y sus contenidos no humanos. Entre los elementos más destacables de la entrada ‘Environmental ethics’ de la SEP (Brennan & Lo, 2016) a los efectos de la gestión medioambiental pueden señalarse: el desafío de la ética ambiental al antropocentrismo (es decir, el centramiento humano) incrustado en el pensamiento ético occidental tradicional; el intento de aplicar teorías éticas tradicionales, incluyendo el consecuencialismo, la deontología y la ética de la virtud, para apoyar las preocupaciones ambientales contemporáneas; la preservación de la biodiversidad como un objetivo ético; las

⁵⁶¹ Cfr. Odenbaugh, Jay (2016): “Conservation Biology”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/conservation-biology/>>.

⁵⁶² Shrader-Frechette, K.S. & McCoy, E.D. (1993): *Method in Ecology: Strategies for Conservation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

⁵⁶³ Shrader-Frechette, K.S. (2001): “Chapter 21. Ecology”, pp. 304-316, in Jamieson, D. (2001) *A Companion to Environmental Philosophy*, Blackwell Publishers Ltd.

⁵⁶⁴ En este sentido, se considera que *Ética ambiental* de Marcos (2001), con un anclaje en el enfoque sistémico de Agazzi, es una importante referencia para el estudio de la dimensión ética de los problemas medioambientales según enfoque multinivel (supranacional, supraespecífica e intergeneracional), así como un sugerente desarrollo de una propuesta de una ética ambiental aristotélica, prudencial, pluralista y de sentido común.

preocupaciones más amplias de algunos pensadores con la naturaleza, el entorno construido y la política de la pobreza; y la ética de la sostenibilidad y el cambio climático.⁵⁶⁵

Como se ha avanzado más arriba, una de las autoras más importantes en filosofía ambiental es Shrader-Frechette, con contribuciones relevantes, entre otros, en los campos del riesgo medioambiental: "Science, Environmental Risk Assessment, and the Frame Problem"⁵⁶⁶; o "Calculated Risks"⁵⁶⁷.

La presencia del riesgo como concepto, y en concreto el de riesgo ambiental, tiene aparejado dos importantes conceptos de la economía y gestión ambiental: el de evaluación de impacto ambiental, en tanto conocimiento anticipado de los impactos ambientales derivados de una actuación (inmaterial o material) sobre el medio; y en relación con la incertidumbre sobre los impactos ambientales, la posición del 'principio de precaución'.

Como se ha señalado, otro de los conceptos más importantes en este apartado es el de 'impacto ambiental' y aquél referido a su comprensión y determinación, la 'evaluación de impacto ambiental'. Las técnicas de valoración de impactos han ido en paralelo con diferentes metodologías para la valoración de los recursos naturales y del medio ambiente. En Freeman (2001) puede encontrarse, en el marco de la filosofía del medio ambiente, una consideración de aspectos centrales de la economía ambiental como: análisis coste-beneficio y política ambiental, valoración de recursos ambientales, agregación en el tiempo y tasas de descuento, uso de incentivos económicos para el control de la contaminación, o sobre la alternativa de una economía ecológica.⁵⁶⁸

Se trata de conceptos que han sido considerados también por autores como Quintanilla (1985, 2005), para quien la evaluación de impacto ambiental se presenta como un procedimiento estrechamente vinculado a cuestiones axiológicas del desarrollo tecnológico⁵⁶⁹.

Algunos autores como Thompson (2001) van más allá de las implicaciones axiológicas, profundizando en cuestiones metodológicas del procedimiento de evaluación de impacto ambiental, planteando lo que denominan el 'dogma del impacto ambiental': en los métodos de evaluación de impacto ambiental los economistas asignan valores económicos a los impactos utilizando técnicas que son controvertidas para ambientalistas y filósofos; pero en cambio, no es materia de tanta controversia el asumir que la aceptabilidad de una nueva propuesta (obra o instalación) dependa de la aceptabilidad de los resultados obtenidos en la evaluación.⁵⁷⁰

Los potenciales riesgos ambientales de las actividades económicas son fuente de preocupación social, lo que ha venido derivando en la formulación de un principio de gestión ambiental conocido como 'principio de precaución', un principio que responde a la incertidumbre de los impactos situándose en una posición en la que "cuando existan amenazas de daños graves o irreversibles, la falta de certeza científica absoluta no se utilizará como motivo para posponer la adopción de medidas económicas destinadas a evitar la degradación del medio ambiente"⁵⁷¹.

El principio de precaución es un tema tratado desde la filosofía de la tecnología, donde pueden señalarse aportaciones completas como la de Stirling (2009) en "The Precautionary

⁵⁶⁵ Cfr. Brennan, Andrew & Lo, Yeuk-Sze (2016): "Environmental Ethics", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.).

⁵⁶⁶ Shrader-Frechette, K. (1994): "Science, Environmental Risk Assessment, and the Frame Problem," *BioScience*, Vol. 44.

⁵⁶⁷ Shrader-Frechette, K. (1996): "Calculated Risks" *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 11.

⁵⁶⁸ Cfr. Freeman, A.M. (2001): "Chapter 19. Economics", pp. 277-290, in Jamieson, D. (ed.) *A Companion to Environmental Philosophy*, Blackwell Publishers Ltd.

⁵⁶⁹ Cfr. Quintanilla, M.A. (2005): *Op. cit.*, p. 140.

⁵⁷⁰ Cfr. Thompson, P.B. (2001): "Chapter 33. Land and Water", pp. 460-473, in Jamieson, D. (ed.) *A Companion to Environmental Philosophy*, Blackwell Publishers Ltd.

⁵⁷¹ Cfr. Principio 15 en la Declaración de Río de 1992.

Principle”⁵⁷² que incluye una amplia bibliografía sobre el tema, y en donde considera los antecedentes generales, el debate crítico⁵⁷³, y las implicaciones prácticas del principio de precaución. Una cuestión que se encuentra ligada a un concepto clave como es el de ‘incertidumbre’ pero que supera ampliamente el marco de la disciplina de economía y gestión del medio ambiente que se está revisando en estos momentos.

De la complejidad de las interrelaciones entre conceptos nodulares de la economía y gestión ambiental que se están considerando (y que podrían ampliarse a otras actividades de carácter tecnológico) da cuenta el esquema de relaciones que también presenta Stirling (2009:255).

De manera resumida, el estado actual de reflexiones filosóficas sobre aspectos importantes de la disciplina de la economía y gestión del medio ambiente, sugiere un conjunto de conceptos que están recibiendo atención por parte de la filosofía: ética ambiental, riesgo ambiental, impacto ambiental, evaluación de impacto ambiental, principio de precaución, ecoeficiencia, sostenibilidad ambiental, valoración ambiental, y economía circular.

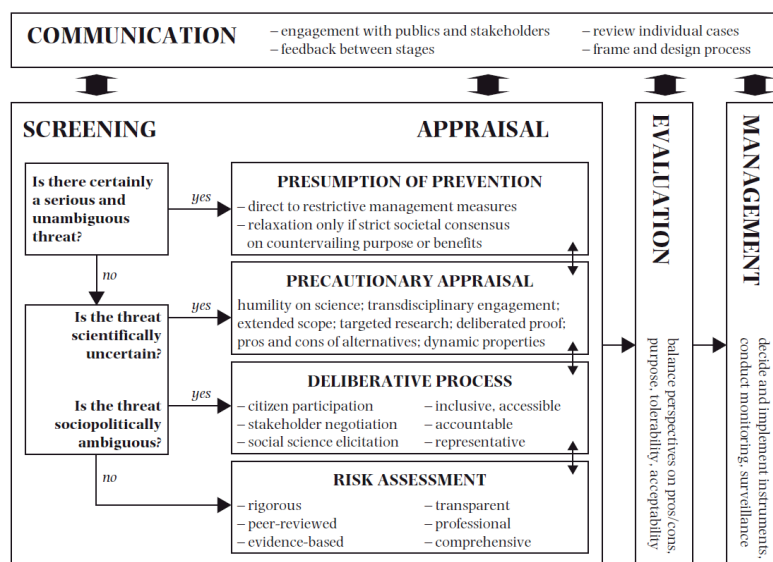


Fig. 6.3.3.b) Marco de relaciones: análisis de riesgos y precaución, en Stirling (2009: 255).

6.3.3.6 Economía y gestión del desarrollo (sostenible), desde el campo económico

La economía se encuentra, de forma natural, en la proximidad de la ingeniería, aunque muy especialmente de las ramas ingenieriles industriales y mecánicas. Se hace la observación de cómo, en su origen, la economía política es una parte de la filosofía moral que imparte Stuart Mill, y cómo la economía –probablemente a finales del siglo XIX– se desacopla del discurso filosófico, quedando a partir de entonces lo que podría llamarse una suerte de filosofía de la tecnología ‘deseconomizada’, como se deduce de “A new interpretation of Technological Progress” de Vitali Gorokhov (1998).

⁵⁷² Stirling, A. (2009): “The Precautionary Principle”, pp. 248-262, en: Olsen *et al.* (2009).

⁵⁷³ Un complemento del análisis filosófico crítico del principio de precaución puede encontrarse en Dupuy (2009): “The Critique of the Precautionary Principle and the Possibility for an ‘Enlightened Doomsaying’”, pp. 210-213, in: *A Companion to the Philosophy of Technology*.

Sin embargo, en este punto se trata fundamentalmente de situar algunas reflexiones de naturaleza filosófica sobre la economía y gestión del desarrollo, en tanto el modelo de desarrollo (sostenible) demanda una serie de infraestructuras y servicios ambientales consistentes con ese paradigma de sostenibilidad.

Previamente a la exposición de reflexiones filosóficas sobre desarrollo sostenible, pueden introducirse referencias sobre investigaciones de naturaleza filosófica, en particular desde la ética, que se han planteado en relación con el concepto de desarrollo. Sirva como ejemplo el trabajo de Kesselring (2009) sobre ética del desarrollo⁵⁷⁴ en el marco de las políticas de ayuda al desarrollo, en donde formula y trabaja en perspectiva filosófica cuatro importantes cuestiones éticas: (1) ¿Qué significa "desarrollo" y en qué dirección apunta?; (2) ¿Qué propósito tiene la cooperación para el desarrollo, qué papel tienen los derechos y obligaciones y ¿en qué motivos se basa?; (3) ¿Quién debe apoyar a quién con la ayuda al desarrollo?; (4) ¿A qué objetivos debe aspirar la política de ayuda al desarrollo?

Otros trabajos, por ejemplo, desde la escuela china de filosofía de la tecnología y de la ingeniería, están vinculando las nociones de desarrollo con características de orden epistemológico. Así, Richard Li-Hua (2009) "Definitions of Technology",⁵⁷⁵ en donde se aborda desde la perspectiva china una descripción de la tecnología desde la perspectiva de su función tanto en economías desarrolladas (como medio para obtener grandes beneficios) como en economías en desarrollo (como instrumento estratégico para crear bienestar y prosperidad en los países en desarrollo); una doble orientación que combina con la conocida diferenciación de los tipos de conocimiento (tácito y explícito).

Desde finales de los años ochenta, como es bien conocido, el concepto de desarrollo sostenible (o sostenibilidad, o sustentabilidad, según diversas escuelas regionales) ha ido tomando una posición dominante en el escenario del medio ambiente, y por tanto de la ingeniería ambiental. Sin embargo, el concepto de 'desarrollo sostenible' no ha estado exento de críticas y problemas –tanto teóricos como prácticos– desde su formulación originaria. Entre los numerosos trabajos sobre sostenibilidad puede señalarse el de Holland (2001)⁵⁷⁶ en el marco compilatorio de filosofía ambiental de finales del siglo XX.

En 2005, Bryan G. Norton en *Sustainability: a Philosophy of Adaptive ecosystem Management* pone de manifiesto las carencias de los recursos lingüísticos que se están empleando para establecer los objetivos y políticas ambientales en el marco de la sostenibilidad. Ante esta situación, el autor propone un nuevo enfoque interdisciplinar para definir la sostenibilidad. Para ello utiliza el análisis filosófico y específicamente semántico al objeto de crear un vocabulario no ideológico en donde pueda acomodarse mejor el discurso ambiental, tanto científico como valorativo. En este sentido el autor muestra cómo la conjunción de los conocimientos científicos con el discurso público tiene un mayor potencial operativo del campo ecológico.⁵⁷⁷

En esta misma línea, autores como Jabareen (2008) señalan, a partir de una revisión crítica de la literatura multidisciplinar sobre desarrollo sostenible, que las definiciones del concepto siguen siendo vagas, que faltan definiciones operativas y que no hay acuerdo siquiera sobre lo que debe ser sostenido. Esto pone de manifiesto la falta de un marco teórico para la comprensión del desarrollo sostenible, y de su complejidad conceptual intrínseca.

⁵⁷⁴ Kesselring, T. (2009): "Development Ethics", pp. 416-421, in *A Companion to the Philosophy of Technology*.

⁵⁷⁵ Li-Hua, R. (2009): "Definitions of Technology", pp. 18-22, in Olsen et al. (eds.) *A Companion to the Philosophy of Technology*.

⁵⁷⁶ Cfr. Holland, A. (2001): "Chapter 27. Sustainability", pp. 390-401, in Jamieson, D. (ed.) *A Companion to Environmental Philosophy*, Blackwell Publishers Ltd.

⁵⁷⁷ Cfr. Norton, B.G. (2005): *Sustainability: a Philosophy of Adaptive ecosystem Management*, Chicago, U. Chicago Press.

Jabareen, en su artículo “A new conceptual framework for sustainable development” (2008) sintetiza la literatura multidisciplinar para, mediante una metodología de análisis conceptual, procede a identificar patrones y categorías que le permiten elaborar siete conceptos relevantes para el significado de ‘desarrollo sostenible’: paradoja ética, stock de capital natural, equidad, eco-forma, gestión integradora, utopismo, y agenda política global.

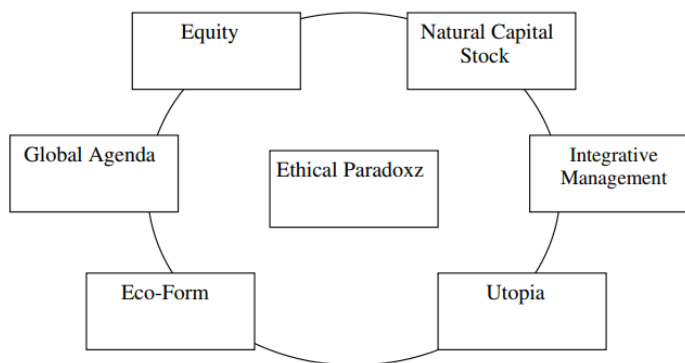


Fig. 6.3.3.c) Un marco conceptual para el desarrollo sostenible (Jabareen, 2008: 188).

Estos siete conceptos, que son ampliamente considerados, se relacionan por Jarabeen articulando un nuevo marco conceptual para el desarrollo sostenible, en un proceso que puede considerarse –parcialmente– como una elucidación filosófica. Pero quiero incidir, y de ahí traer a este punto la representación gráfica, en cómo el autor acompaña la descripción del marco conceptual de una representación gráfica, otorgando a la misma un valor propio, que muestra aspectos que, probablemente no pueden mostrarse con la mera descripción literaria.

Este trabajo tiene especial interés metodológico, por cuanto, cuando Jabareen publica una aproximación metodológica a la elaboración de marcos conceptuales en “Building a Conceptual Framework: Philosophy, Definitions, and Procedure” (2009). En este trabajo de corte metodológico, expone como caso el marco conceptual del desarrollo sostenible. Es notable que el avance metodológico que hace Jabareen incluye, además de unas interesantes precisiones terminológicas sobre conceptos y marcos conceptuales, incluye una categorización filosófica de los conceptos (como componentes) que forman el marco conceptual, según su carácter, clasificando como: conceptos ontológicos, conceptos epistemológicos y conceptos metodológicos⁵⁷⁸.

⁵⁷⁸ Jabareen, Y. (2009): “Building a Conceptual Framework: Philosophy, Definitions and Procedure”, p. 57.

6.4 PERTINENCIA DE UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA

Tanto al plantear los antecedentes de la ingeniería sanitaria y el estado actual de la ingeniería sanitaria y ambiental, como *explicandum*, como al presentar el panorama de reflexiones filosóficas actuales sobre esta ingeniería, se puede observar –hasta donde se ha alcanzado– que la ingeniería sanitaria y ambiental no ha sido el objeto de reflexiones filosóficas integrales ni tampoco detalladas. Sin embargo, los contenidos aportados sí que ponen de manifiesto el interés potencial de una elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria. Es más, el diseño general del modelo de elucidación filosófica, que arranca de la tecnología, pasa a un modelo más detallado de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería –como se ha visto– para llegar al caso más concreto de una concreta ingeniería, en este caso la ingeniería ambiental sanitaria. Esta ruta elucidatoria desde lo más general a lo más específico se observa en la figura adjunta, completada a partir de la que se presentó en la parte primera.

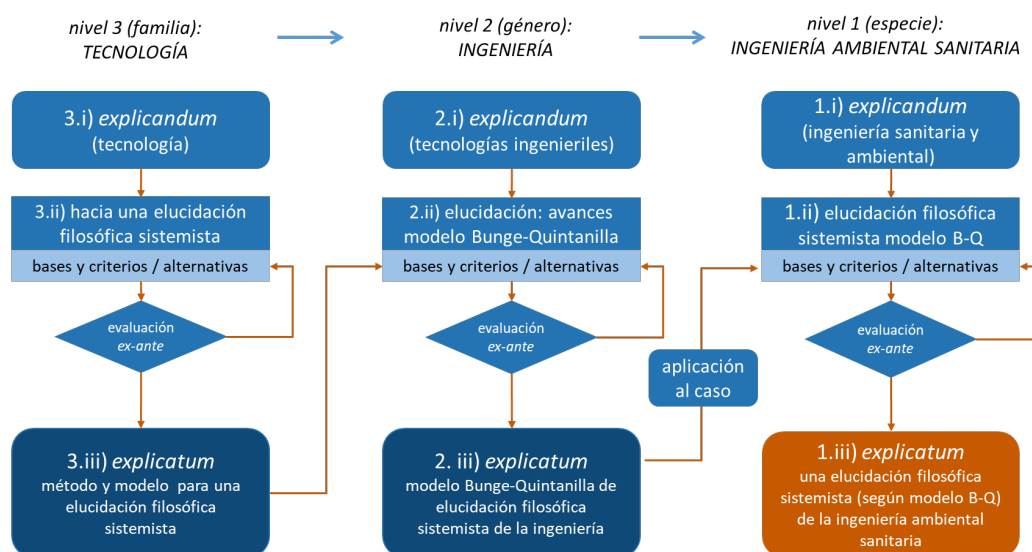


Fig. 6.4.a) Ruta general de elucidación filosófica: tecnología > ingeniería > ingeniería ambiental sanitaria

Además, en el capítulo 4, en el apartado 4.1.3 se trata sobre la especificación del problema (ingeniería como *explicandum*) y requisitos para un *explicatum* de la ingeniería. En este punto, las especificaciones del problema (ingeniería ambiental sanitaria) como *explicandum* pueden presuponerse similares a las formuladas para la ingeniería, con la salvedad de que ahora no se trata de una actividad genérica, sino de una actividad concreta que se desarrolla efectivamente por unas determinadas comunidades profesionales que desarrollan las funciones praxiológicas más características (académico-docente, de cambio ingenieril o I+D+i, de producción, y de gestión y control), operando sistemas técnicos característicos, como se verá más adelante.

Entonces, las especificaciones del problema (ingeniería ambiental sanitaria) como *explicandum*, responderían de forma más concreta a las ‘preguntas (filosóficas) sobre la ingeniería’, establecidas a partir de las rutas abiertas de reflexiones filosóficas –ya

mencionadas— que aportan Quintanilla (2005: 173)⁵⁷⁹ y Bunge (1985: 235). A estas cuestiones pueden agregarse otras, relacionadas con la ‘naturaleza de la ingeniería’ (*nature of engineering*), que serían fruto de una visión multidisciplinar, actualizada e inteligente sobre la ingeniería, como algunas de las cuestiones que plantean Pleasants y Olson (2018: 161)⁵⁸⁰.

Ese tipo de cuestiones serían parte importante de los problemas filosóficos para los que la elucidación de la ingeniería ambiental sanitaria pretende dar una respuesta satisfactoria. Una respuesta que, como se ha detallado para el caso de elucidación filosófica de la ingeniería, atiende a requisitos de adecuación generales carnapianos (semejanza, exactitud, fertilidad y simplicidad), y de Strawson (investigación unificada y criterios para conceptos básicos). Estos criterios se completan con todos los derivados de las aportaciones de Bunge y Quintanilla que se articulan de forma integral en la propuesta desarrollada de ‘modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de tecnologías ingenieriles’.

Como se ha planteado, la primera actividad de la fase del diseño elucidatorio consiste en la adopción de un modelo que pueda servir como modelo de referencia para seguir avanzando en el proceso elucidatorio. En este caso, una vez que se ha presentado en el capítulo anterior el modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de ingenierías, y de acuerdo con la ruta general elucidatoria (tecnologías > ingenierías > ingeniería ambiental sanitaria), voy lógicamente a adoptar este modelo (que se representa gráficamente integrado) como punto de partida para avanzar, en la elucidación filosófica sistemista de la ingeniería ambiental sanitaria.

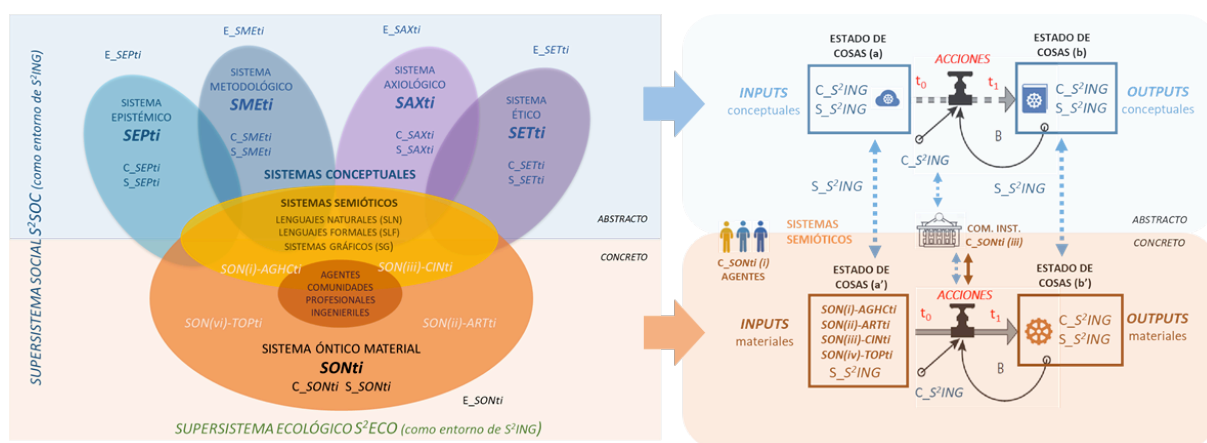


Fig. 6.4.b) Representación integrada: modelo B-Q de elucidación filosófica sistemista de una ingeniería

Entonces, a la hora de analizar cada uno de los diferentes sistemas que se tratan en el modelo B-Q de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería ambiental sanitaria, se incorporan tanto las especificaciones como los requisitos particulares que corresponden a ese nivel elucidatorio, así como las referencias bibliográficas y documentales más relevantes, que se han expuesto a lo largo de este capítulo. El caso de elucidación filosófica sistemista de la

⁵⁷⁹ “la tecnología actual (...) es un componente ineludible de la cultura industrial y urbana actual, un factor decisivo en la competitividad económica, una fuente continua de creatividad e innovación social, un ámbito decisivo de debate político y el origen de nuevos retos morales, educativos y culturales.”

⁵⁸⁰ “¿Qué significa para un ingeniero diseñar una tecnología? ¿En qué medida es diferente el diseño ingenieril del diseño en otras disciplinas? (...) ¿Cómo usan los ingenieros el conocimiento de otras disciplinas, como las científicas? ¿Qué tipos de conocimientos son internos para la disciplina ingenieril? (...) ¿De qué modo deberían pensar los ingenieros en la sociedad cuando hacen su trabajo? (...) ¿Cómo se influyen entre la ciencia y la ingeniería?”

ingeniería ambiental sanitaria se convierte, de este modo en un completo banco de pruebas para aplicar –hasta el más detallado nivel de una ingeniería específica– la propuesta de modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista.

7 LA INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA COMO *EXPLICATUM*

A partir de todo lo expuesto anteriormente, puede procederse a elaborar una expresión más detallada, como *explicatum*, de un ‘modelo Bunge-Quintanilla’ de elucidación filosófica sistemista, aplicado al caso de la ingeniería ambiental sanitaria. Este caso puede aplicarse gracias al avance realizado con el modelo elucidatorio desde un nivel más genérico (tecnología), pasando por un nivel más específico (tecnología ingenieril o ingeniería), en lo que la elucidación filosófica ha permitido identificar los componentes (C), entorno (E), y estructura (S) de los diferentes sistemas (material, mixto y conceptuales) componentes, así como el mecanismo (M) general que definen los sistemas funcionales praxiológicos de la ingeniería. Finalmente, se incorpora la dimensión histórica (H) del sistema complejo del caso de la ingeniería ambiental sanitaria.

Entiendo la ingeniería civil-ambiental sanitaria como una ingeniería [sistema complejo socio-técnico, S^2INGas] que incluye diversos sistemas de acciones humanas [sistemas funcionales praxiológicos, $SPRAias$] intencionalmente orientados [sistemas semióticos, SLG ; epistémico, $SEPIas$; metodológico, $SMEias$; y axiológico, $SAXias$] por comunidades profesionales ingenieriles [$COPIas$] para transformar un determinado estado de cosas [aguas, suelos, residuos y aire en medios urbanos] de forma eficiente [$SAXias$] para la consecución de resultados que se consideran valiosos [$SAXias$ y $SETias$], mediante sistemas técnicos [ST] de: abastecimiento de agua a poblaciones [$STabu$], saneamiento y depuración de aguas residuales [$STdru$], drenaje de aguas pluviales y escorrentías urbanas [$STdeu$], gestión de los residuos sólidos urbanos y protección del suelo [$STrsu$], y control y gestión de la contaminación del aire urbano [$STcau$].

De acuerdo con el modelo general bungeano de sistemas CESM (componentes, entorno, estructura y mecanismos), un modelo (μ) de elucidación filosófica sistemista Bunge-Quintanilla del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas), en un momento t dado, podría representarse (como *explicatum*) por la siguiente cuaterna:

$$\mu (S^2INGas)t = \langle C(S^2INGas), E(S^2INGas), S(S^2INGas), M(S^2INGas) \rangle$$

donde,

$C(S^2INGas)$ o C_S^2INGas : componentes-sistema del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, entre los que se encuentran el sistema óntico material ($SONias$)⁵⁸¹; los sistemas semióticos, tanto lingüísticos, agrupados como lenguajes naturales ($SLNias$) y lenguajes formales ($SLFias$), como gráficos ($SGias$); además de los sistemas (conceptuales) epistémico ($SEPIas$), metodológico ($SMEias$), axiológico ($SAXias$) y ético ($SETias$);

⁵⁸¹ Utilizo ‘ias’ como abreviatura de ‘ingeniería ambiental sanitaria’, al final de las denominaciones de sistemas, subsistemas o componentes, así $SONias$, $SLNias$... Solamente utilizo una terminación distinta en la identificación del sistema complejo (S^2INGas), ya que el ING es a abreviatura de ‘ingeniería’, que continúo con las minúsculas de ‘ambiental sanitaria’ como tipo específico de ingeniería.

$E(S^2INGas)$ o E_S^2INGas : entorno del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, destacando el supersistema social (S^2SOC) que integra el sistema político ($SOCpol$), el económico ($SOCeco$) y el cultural ($SOCcul$), así como el supersistema ecológico (S^2ECOL);

$S(S^2INGas)$ o S_S^2INGas : estructura del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, donde se dan relaciones mediante flujos (materia, energía, información) entre los sistemas componentes (endoestructura) y de los sistemas componentes con su entorno (exoestructura);

$M(S^2INGas)$ o M_S^2INGas : mecanismos del sistema complejo o colección de procesos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria, representados por los sistemas funcionales praxiológicos ($SPRAias$), entre los que se identifican el académico-docente ($SPRA-Aias$), de cambio ingenieril ($SPRA-Cias$), de producción ($SPRA-Pias$) y de gestión y control ($SPRA-Gias$) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria.

Así, el modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería ambiental sanitaria que voy a desarrollar contempla cuatro grupos de sistemas por completo interrelacionados, donde los tres primeros grupos son los componentes-sistema (C) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria: (i) el mundo material de la ingeniería ambiental sanitaria, en donde aparece el sistema óntico de la ingeniería ambiental sanitaria, que incorpora como elemento esencial a las comunidades profesionales ingenieriles; (ii) el puente (concreto-abstracto) entre el mundo material y la cultura ingenieril, en el que he incluido los sistemas semióticos empleados en la ingeniería ambiental sanitaria; y (iii) la cultura inmaterial ingenieril, en donde aparecen los cuatro sistemas (conceptuales) culturales (epistemológico, metodológico, axiológico y ético) de la ingeniería ambiental sanitaria. En la representación adjunta se presentan los distintos sistemas sobre lo que sería la naturaleza del fondo dominante (concreto o material, y conceptual o abstracto), donde los sistemas semióticos son los sistemas puente.

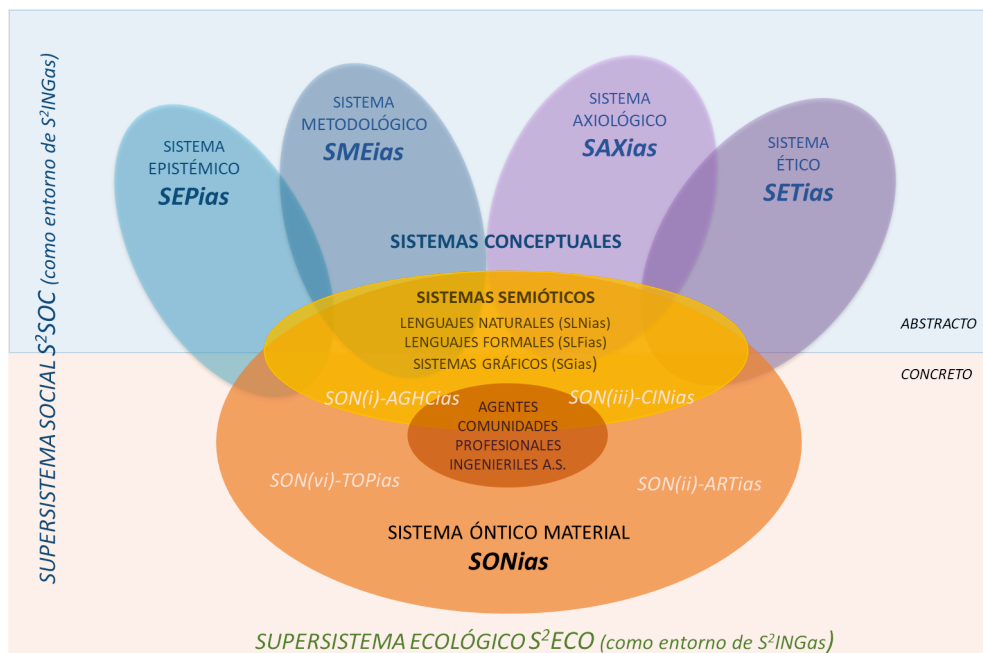


Fig. 7.a) Modelo B-Q de elucidación filosófica sistemista: componentes-sistema (C) y elementos CES del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas)

Siguiendo el modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista, para cada uno de estos componentes-sistema elucidaré, de acuerdo con el modelo bungeano simplificado CES, sus componentes (C), su entorno (E) y su estructura (S). En todo caso, el sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria (*SONias*) es objeto de un detallado estudio, partiendo de sus cuatro subsistemas relevantes: la agencia humana individual y de comunidades (AGHCias); el subsistema artefáctico (ARTias), que se ha detallado para cada uno de los cinco sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria; el complejo institucional (CINias); y los componentes que forman lo que denomino toposistema (TOPias), que se detallan en correspondencia con los sistemas técnicos característicos y con el supersistema ecológico (*S²ECOL*), dada su relación con la ingeniería ambiental sanitaria.

El cuarto grupo de sistemas (de tipo funcional, con estructura *inputs-outputs*) está formado por los mecanismos (M) característicos (práctica ingenieril) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (*M_S²INGas*). Son cuatro: académico-docente, de cambio (I+D+i), de producción y de gestión). Este tipo de sistemas funcionales praxiológicos puede representarse, con una alta generalización, del modo en que se hace en la figura adjunta. También en este formato de representación se diferencian dos áreas (concreta y abstracta), de acuerdo a la presencia dominante de elementos, así como a las líneas de acciones (*inputs – outputs*) que involucran sistemas predominantemente materiales (*SONias*) o conceptuales, pero que en todo caso están operados por agentes intencionales (comunidad profesional de la ingeniería o complejos institucionales) que comparten sistemas semióticos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

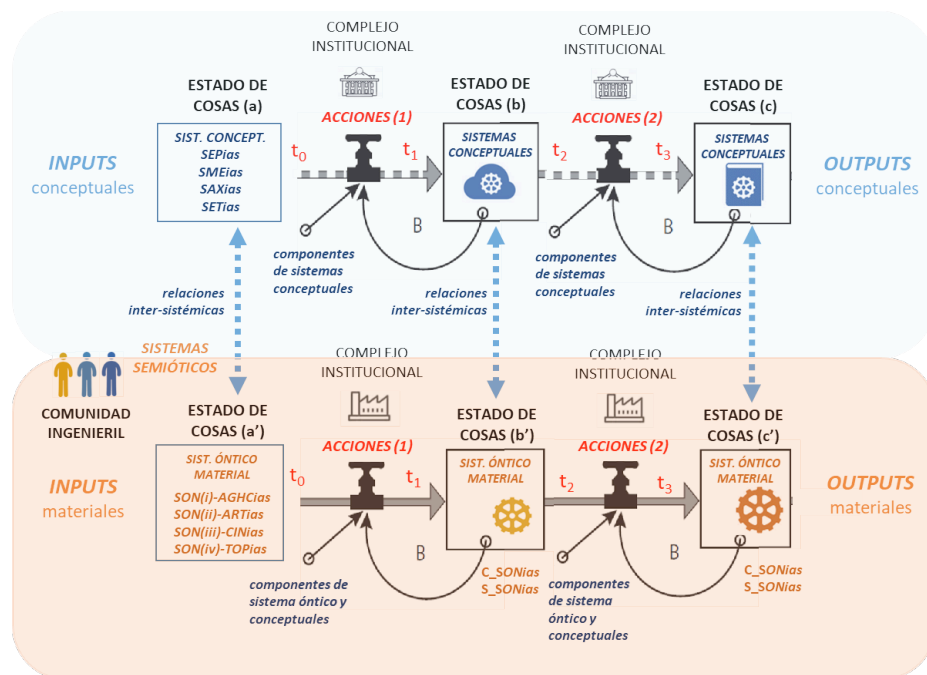


Fig. 7.b) Modelo B-Q de elucidación filosófica sistemista: mecanismo (M), sistema funcional praxiológico (general) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (*S²INGas*)

Finalmente, he incluido en este capítulo una serie de reflexiones que entiendo pertinentes, sobre historia e historicidad de los sistemas componentes, así como del conjunto del sistema complejo, lo que permite reintegrar una visión de conjunto del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (*S²INGas*).

7.1 MUNDO MATERIAL: SISTEMA ÓNTICO DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA

Aunque sólo se identifica un único sistema óntico material de la ingeniería ambiental sanitaria, a efectos de desarrollo, he optado por dividirlo en cuatro áreas (que voy a contemplar como subsistemas), lo que me permite ir desplegando una propuesta detallada de sistema óntico material para esta ingeniería. En la primera (i) de ellas voy a centrarme en los seres humanos en tanto agencia humana, a través de sus distintos niveles de complejidad óntica. En la segunda (ii) voy a elucidar detalladamente sobre el dominio de los objetos artificiales, siguiendo la lógica ingenieril recurso-artefacto-producto (R-A-P), en sus distintos niveles de complejidad; y voy a identificar el conjunto de componentes artefacticos para cada uno de los sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria⁵⁸². El siguiente subsistema (iii) trata sobre los complejos institucionales, en tanto componentes complejos (socio-técnicos) que resultan de la agregación de componentes de la agencia humana y componentes artefacticos. El cuarto (iv) de los subsistemas, que denomino ‘subsistema tópico’ o ‘topo-subsistema’, reúne aquellos componentes materiales que no estando incluidos en ninguno de los anteriores, son necesarios para dar cuenta de sistemas ingenieriles (ingeniería ambiental sanitaria) que no pueden ser estudiados sin incorporar su medio, ya que algunos elementos que podrían considerarse como entorno (población y territorio), deben tratarse como componentes, dado el especial significado de componentes como la estructura urbana (ciudad), y de componentes del supersistema ecológico (aire, agua y suelo) que, necesariamente, forman parte de los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

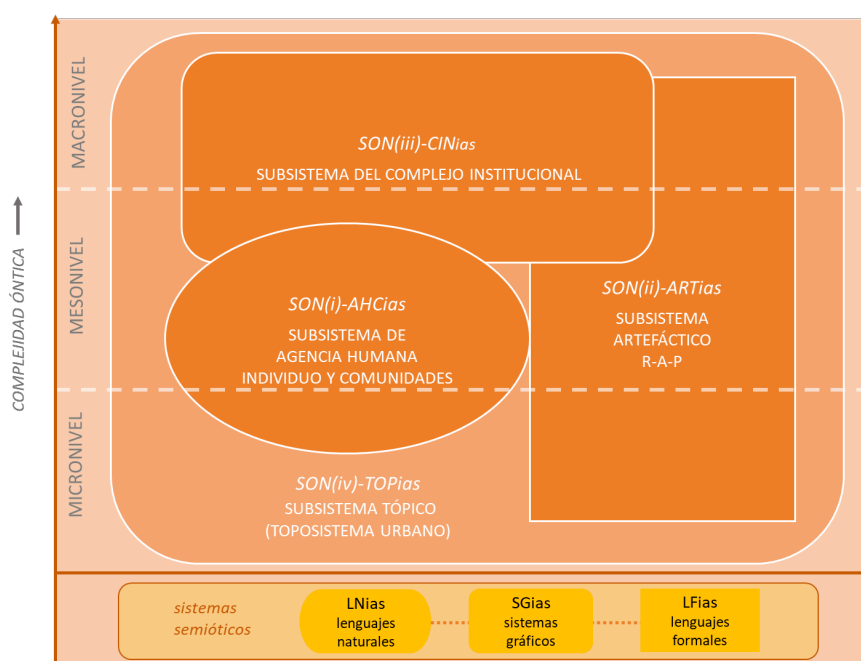


Fig. 7.1.a) Subsistemas del sistema óntico material de la ingeniería ambiental sanitaria (SONias)

Como los componentes del sistema óntico van a estudiarse detalladamente a través de cuatro subsistemas, y dado que para identificar de forma completa el sistema óntico se requiere, a su

⁵⁸² Sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria: (i) captación, tratamiento y abastecimiento de agua potable (*STabu*); (ii) saneamiento, depuración y vertido de aguas residuales urbanas (*STdru*); (iii) drenaje de aguas pluviales y escorrentías urbanas (*STdeu*); (iv) recogida, transporte y tratamiento de residuos sólidos urbanos (*STrsu*); y (v) control y reducción de contaminación del aire y acústica en núcleos urbanos (*STcau*).

vez, identificar sus componentes (C), entorno (E) y sus relaciones (S), voy a anticipar –como en el modelo para una ingeniería– unas observaciones generales sobre el entorno y relaciones para el conjunto de los componentes del sistema óptico material. Estas observaciones generales se enmarcan (E_*SONias* y S_*SONias*) en la ruta elucidatoria general del sistema óptico material que se presenta.

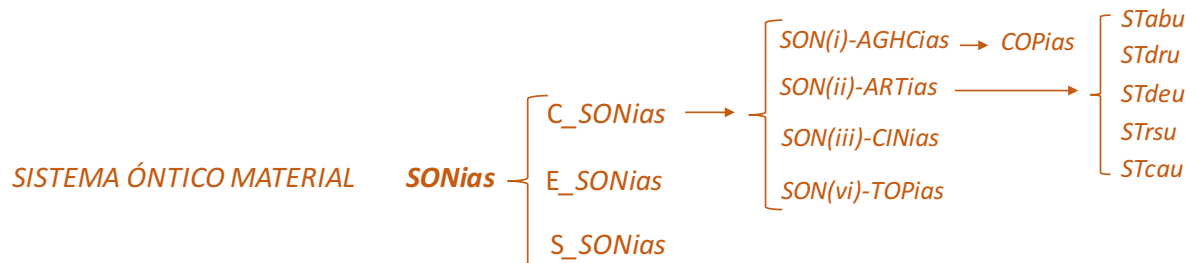


Fig. 7.1.b) Ruta de elucidación del sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria (*SONias*)

De forma general, sobre el entorno (E) del sistema óptico de la ingeniería ambiental sanitaria (E_*SONias*), puede señalarse que de acuerdo con el modelo sistémico bungeano CES, una vez identificados los componentes del sistema, procede señalar el entorno o entornos, tanto de los componentes como del sistema en su conjunto. El entorno de un sistema dado está formado por el conjunto de componentes de otros sistemas u otros sistemas que tienen una relación más débil con los componentes (del sistema dado) que la que éstos mantienen con el resto de los componentes que forman ese sistema dado. Entonces, situar en el sistema dado o en su entorno a un componente es fruto de una decisión que se lleva a cabo dentro de una escala gradual de intensidad de relación. Pero también un entorno es el del sistema correspondiente, en un orden de magnitud (y, generalmente, de complejidad también) respecto a los componentes que se estén analizando.

Así, el entorno de la agencia humana, y muy especialmente de la comunidad profesional, sería la sociedad, que ya es identificada explícitamente como entorno de la tecnología en Bunge (1979). Utilizando la ‘sociedad’ en tanto elemento identificado por Bunge, se entiende a su vez como espacio de contacto de tres subsistemas: económico, político y cultural. Estos sistemas también serán entorno del conjunto de componentes del complejo institucional.

Como entorno de los artefactos y sistemas artefactivos pueden señalarse especialmente los sistemas cultural y económico, así como también el sistema ecológico (como proveedor inicial de energía y materias primas de procesos tecnológicos). Siguiendo esta última línea, las entidades reales naturales (tanto bióticas como abióticas), estarían relacionadas, como entorno, con el sistema ecológico o ecosistema, excluyendo aquellos componentes del supersistema ecológico (aire, agua y suelos) que estarían interiorizados en los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

También formarían parte del entorno los otros sistemas del sistema complejo ingenieril acoplados con el sistema óptico material, vinculados mediante componentes puente (sistemas semióticos) y por los sistemas funcionales praxiológicos, como son los sistemas conceptuales (epistémico, metodológico, axiológico y ético).

Sobre las relaciones (S), puede señalarse que en el sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria (S_*SONias*) pueden encontrarse relaciones que implican intercambios potenciales de: materia, energía e información. Los dos primeros son dominantes en el subsistema (ii) artefactivo, lo que los hace característicos de la estructura relacional del ‘mundo material’ de la ingeniería que se esté considerando. En este caso, las

relaciones materiales más importantes se producen en relación con flujos de aguas (aguas pluviales, aguas potables y aguas residuales) que determinan en cierto modo el continuo del sistema técnico. Al tratar sobre las relaciones de información puede apelarse en un primer momento a los tipos de información, apoyándose en los tipos propuestos por Mosterín (1993), que Quintanilla (2012) considera en sus trabajos sobre innovación y cultura tecnológica.

De nuevo, se hace la observación de que la estructura completa del sistema se define (*cfr.* Bunge, 2002) a partir, por una parte, de la endoestructura (relaciones entre componentes) y de la exoestructura (relaciones componentes-entorno).

La endoestructura del sistema óptico ingenieril, como conjunto de relaciones entre componentes (C-C), puede analizarse en tres bloques. En primer lugar, por las relaciones entre los componentes humanos del sistema óptico, que son fundamentalmente relaciones de información. Los intercambios de información entre componentes humanos están condicionados a que los componentes compartan al menos un lenguaje (un lenguaje natural, cuando menos). Según se hacen más complejos los niveles ópticos de los componentes humanos se observan que comparten lenguajes más específicos (lenguaje formal lógico-matemático, lenguajes técnicos...) y sistemas gráficos. En todo caso, los lenguajes empleados por componentes humanos son de los tres tipos de información pragmática: representacional, práctica y valorativa. Estos lenguajes y los sistemas gráficos de la ingeniería ambiental sanitaria, como sistemas mixtos (materiales-conceptuales) se exponen más adelante.

En la ingeniería ambiental sanitaria también se dispone de lenguajes específicos para la interrelación entre componentes-humanos y componentes-artefactos (de niveles ópticos superiores), como son los lenguajes informáticos. Para tales niveles ópticos superiores, este tipo de lenguajes también permitiría las interrelaciones directas –sin mediación humana– entre distintos componentes de los sistemas artefactivos.

Además, las relaciones entre componentes humanos y artefactos, también pueden ser de tipo material o energético, lo que ocurre básicamente en los niveles ópticos bajos de artefactos. Por otra parte, en todos los niveles, pero especialmente a partir de estos, las interrelaciones entre componentes artificiales, señaladamente entre la terna funcional recurso-artefacto-producto, son de tipo material y energético. Dentro de cada nivel óptico, y para cada caso de sistema técnico, se establecen relaciones muy específicas de materia y energía que pueden identificarse.

En cuanto a la exoestructura del sistema óptico material ingenieril, que da cuenta de las relaciones entre componentes (C) y su entorno (E), puede establecerse de nuevo la diferencia entre los componentes de la agencia humana y los componentes artefactivos. Para los primeros, las relaciones con su entorno próximo (otros sistemas del complejo) son de información. Por otra parte, las relaciones con su entorno menos próximo, definido por el sistema social (subsistemas político, económico y cultural) en que se enmarcan, se producen sustancialmente también como relaciones de información.

Finalmente, la exoestructura de los componentes artefactivos se define básicamente por relaciones de materia y energía, tanto con otros sistemas tecnológicos como –especialmente en el caso de ingenierías vinculadas al territorio– con el sistema ecológico o ecosistema (subsistema biótico y subsistema abiótico)⁵⁸³.

⁵⁸³ Para el caso de ingenierías entre cuyos sistemas técnicos está la transformación del territorio (ingeniería minera, civil, ambiental...), y por tanto hay modificación de sistemas ecológicos (ecosistemas), las relaciones entre los componentes artefactos y la de componentes del ecosistema, llegaría a ser relación C-C, y por tanto endoestructural.

A partir de lo anterior, puede representarse gráficamente, de forma general, el sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria. Se incluyen los cuatro conjuntos de componentes, como subsistemas ópticos (agencia humana no institucional, artefactos y sistemas artefactuales, complejo institucional y toposistema). Se incluyen también como componentes los sistemas semióticos (sistemas puente concreto-abstracto). Y se indican los entornos del sistema óptico más relevantes (a excepción del resto de los sistemas del sistema complejo ingenieril), como son los supersistemas social (político, económico y cultural), y el supersistema ecológico. Se incluyen, de forma general, las relaciones de materia y energía (flecha continua marrón) y de información (flecha discontinua azul) entre los diferentes subsistemas, los sistemas semióticos, y con los supersistemas social (político, económico y cultural) y ecológico.

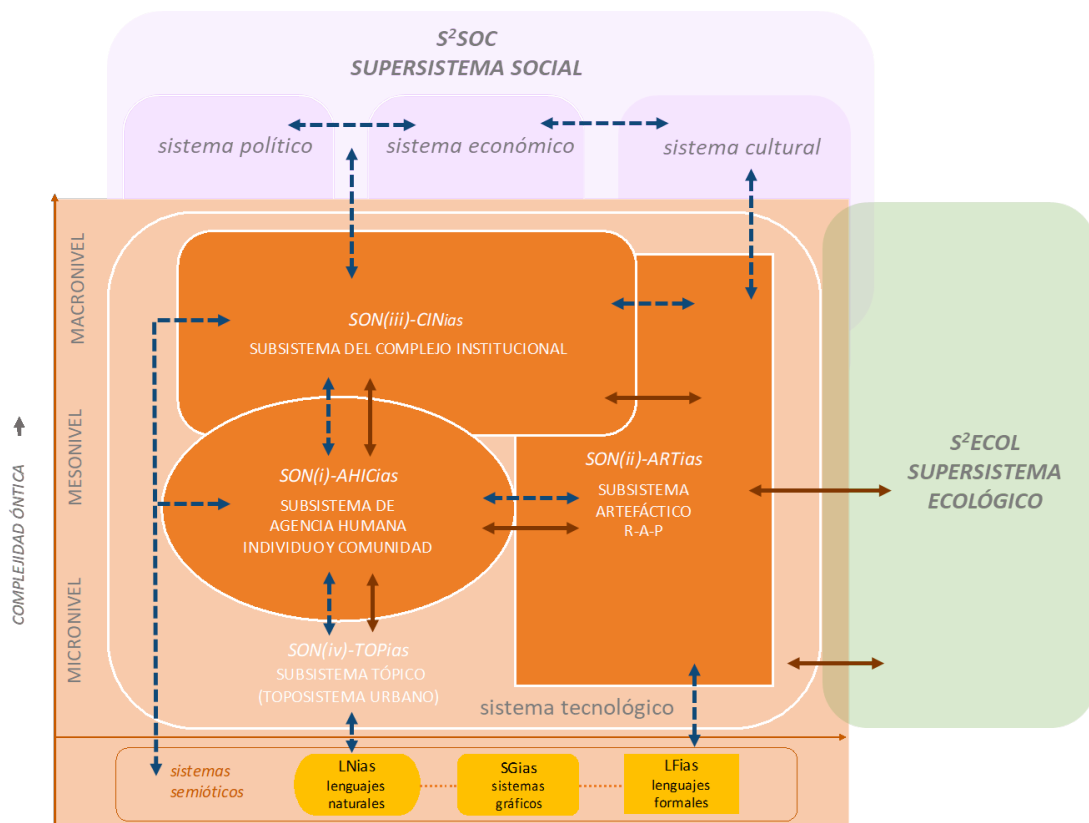


Fig. 7.1.c) Sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria (SONias): grupos de componentes, entorno y estructura

A continuación, se sigue con la ruta de elucidación del sistema óptico a través de los cuatro subsistemas que configuran el conjunto de componentes (C) del sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria (C_SONias).

7.1.1. Subsistema óptico (i): agencia humana de individuo y comunidades ingenieriles

El primer subsistema (i) de agencia humana y comunidades (SON-AGHCias) del sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria, como para el caso general de la ingeniería, se centra en la persona, como individuo y como colectividad (comunidades profesionales ingenieriles), que se manifiesta como el núcleo de la ingeniería en tanto actividad socio-tecnológica humana intencionalmente orientada a la transformación eficiente

de un estado de cosas para obtener resultados que se consideran valiosos (*cfr.* Quintanilla, 2005). Esta agencia humana está en el centro de la actividad ingenieril aunque, como se ha de ver, la actividad ingenieril no sólo se realiza individualmente, sino habitualmente en formas colectivas, y –como se verá más adelante– a través de complejos institucionales.

En este apartado se incluyen los componentes humanos en grado creciente de complejidad según su relación con la actividad ingenieril: seres humanos < agente intencional < comunidad de agentes. En la representación de esta serie puede observarse cómo se diferencia entre un primer nivel (micronivel) de complejidad óptica que incluye los componentes en donde el sujeto es un individuo. El siguiente nivel (mesonivel) de complejidad óptica trata de los individuos organizados en comunidades, como comunidades de agentes (COAias). Esta comunidad genérica se especializa según dos líneas: la de los usuarios de los servicios de la ingeniería ambiental sanitaria (COUias), y la esencial –con el mayor nivel de complejidad– que son las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria (COPias).

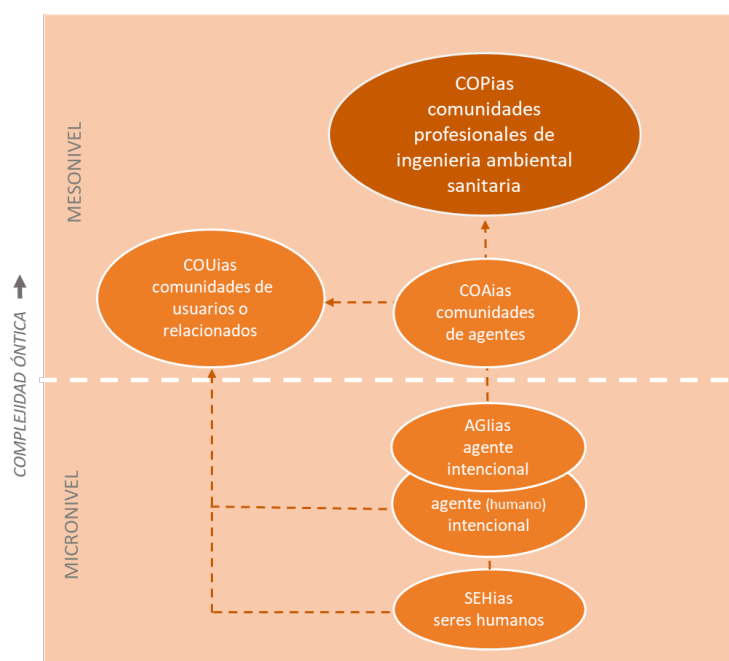


Fig. 7.1.1.a) Componentes (humanos) de sistema óptico (i) de la ingeniería ambiental sanitaria

Esta representación de componentes de este subsistema óptico de la agencia humana individual y en comunidad responde a una composición básica del subsistema óptico (i) de agencia humana individual y comunidad de la ingeniería ambiental sanitaria (*SON(i)-AGHCias*), de modo que de forma general:

$$SON(i)-AGHCias = < SEHias, AGIias, COAias, COUias, COPias >$$

en donde:

SEHias: seres humanos del sistema óptico de la ingeniería ambiental sanitaria;

AGIias: agentes intencionales (humanos y, en su caso, complementados con ‘no humanos’) de la ingeniería ambiental sanitaria;

COAias: comunidades de agentes (intencionales o no intencionales, profesionales o no) de la ingeniería ambiental sanitaria;

COUias: comunidad de usuarios y relacionados de la ingeniería ambiental sanitaria;
COPias: comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria.

Estos son los componentes básicos del subsistema de la agencia humana, tanto los individuales como las comunidades. Como forman parte de niveles ónticos distintos, los tipos de componentes no son excluyentes. Los miembros de la comunidad profesional de ingeniería ambiental sanitaria son, a su vez, miembros de comunidades de agentes, y son agentes intencionales, y son seres humanos (COPias < COAias < AGLias < SEHias). Esta inclusividad de los componentes refleja la posibilidad de un haz multinivel (óntico) de relaciones ónticas, semióticas, epistémicas, metodológicas, axiológicas, éticas y praxiológicas.

Como ya se ha expuesto, para dotar de un sentido sistémico al conjunto, los componentes que se han identificado deben presentarse junto con su entorno (E) y las relaciones que definen su estructura (S). En este punto puede avanzarse, al menos, que la estructura que articula estos componentes se basa principalmente en relaciones informativas, particularmente información pragmática (descriptiva, práctica y evaluativa).

Siguiendo con la representación gráfica, desde el último nivel de individuo, como agente intencional (AGLias), se establece un componente con la denominación más genérica de comunidades de agentes (COAias) en tanto grupo de agentes organizados, pero que no sólo se refiere a la profesional (implícitamente intencional), sino que puede abordar otras actividades colectivas de agentes (intencionales o no intencionales). Este nivel permitiría conectar con comunidades de agentes o profesionales de otras ramas tecnológicas. En esta comunidad de agentes también podrían considerarse, por ejemplo, quienes van a estudiar ingeniería con el objetivo de incorporarse a las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria.

Más en concreto, en este caso, la comunidad de agentes da paso a una comunidad como es la de usuarios de la ingeniería ambiental sanitaria (COUias). Los usuarios de los servicios de la ingeniería ambiental sanitaria, señaladamente de: abastecimiento de agua potable, saneamiento y depuración de aguas residuales domésticas, y recogida y tratamiento de residuos urbanos, tienen una destacable importancia en los sistemas praxiológicos productivos (de servicios) de la ingeniería ambiental sanitaria. Los sistemas tecnológicos correspondientes (redes y sistemas de agua y de residuos, por ejemplo) establecen una relación punto a punto, directamente con los usuarios. Incorporando a los usuarios busco también darle mayor visibilidad en los procesos de diseño ingenieril, dado que son finalmente el objeto de las especificaciones y requerimientos de los servicios.

También desde las comunidades genéricas de agentes, paso a destacar las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria (COPias), que son un componente esencial, no sólo del subsistema óntico de agencia humana, sino también de todo el sistema óntico de la ingeniería, y por supuesto del conjunto del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria. Las comunidades profesionales ingenieriles son las que garantizan la existencia y la sostenibilidad de una determinada disciplina ingenieril.

De forma muy genérica, la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria (COPias) es un sistema social en que se encuentran individuos organizados (mediante colegios profesionales⁵⁸⁴, o asociaciones y sociedades profesionales, tanto nacionales como internacionales) que comparten, además de una determinada visión del mundo (sistema óntico

⁵⁸⁴ Especialmente los colegios profesionales de ingeniería de caminos, canales y puertos, así como los colegios profesionales de ingeniería de obras públicas e ingeniería civil, en donde se concentran la mayor parte de los profesionales con competencias para el ejercicio de la profesión en España. Las fórmulas de agrupación (colegios, asociaciones, sociedades...) pueden variar en países tanto del ámbito europeo como del americano.

material), una cultura ingenieril (sistemas semióticos, epistémico, metodológico, axiológico y ético) y una práctica ingenieril (sistemas funcionales praxiológicos). Ahora, en tanto comunidad profesional, se entiende que, para formar parte de la misma, un individuo debe disponer de una cualificación profesional determinada, y además aparecer como agente intencional de, al menos, uno de los cuatro sistemas praxiológicos: académico-docente; de cambio o investigación; de proyecto y producción; o de gestión y control del ámbito de la ingeniería ambiental sanitaria.

Voy a considerar, como ámbito tipo para estas comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria, al territorio euroamericano (Europa occidental junto con el continente americano), puesto que viene compartiendo desde hace décadas una similar cultura de la ingeniería civil y ambiental sanitaria. De forma muy amplia, y como introducción, esa cultura está relacionada con los más característicos de los sistemas tecnológicos que interesa esta disciplina de ingeniería ambiental sanitaria, que como tal está muy orientada a dar servicio a las necesidades de la población urbanizada: captación y abastecimiento de agua potable (*STabu*); saneamiento y depuración de aguas residuales (*STdru*); drenaje y gestión de aguas pluviales (*STdeu*); gestión de residuos sólidos urbanos (*STrsu*); control y protección de contaminación de aire urbano (*STcau*); y control y protección de suelos y aguas subterráneas frente contaminación⁵⁸⁵.

Estas comunidades profesionales de ingeniería civil y ambiental sanitaria se representan socialmente a través de sociedades nacionales e internacionales y redes profesionales. Una de las más amplias sería la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), compartida prácticamente por el conjunto de la comunidad profesional americana de ingeniería civil y ambiental sanitaria.

Las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria (COPias) comparten una serie de elementos físicos entre los que están los sistemas tecnológicos (que se han visto), así como una condición de entorno, como es la de que estos sistemas están en sistemas complejos urbanos (toposistemas). Además, los elementos más importantes, como es el caso del agua, es un componente relevante no sólo para ese complejo urbano, sino también en relación con el ecosistema.

Se irá viendo también cómo las comunidades COPias comparten una serie de lenguajes (naturales, formales) y sistemas gráficos, y una cultura que se entiende desde lo epistemológico, pasando por lo metodológico, hasta lo axiológico y lo ético. También es característico de estas comunidades, estar asociadas según distintos niveles institucionales, y compartir el 'estado del arte' de la actividad mediante congresos y, de una forma más continuada en el tiempo, mediante publicaciones en revistas técnicas. Así, entre los medios de interacción de estas comunidades euroamericanas de ingeniería ambiental sanitaria se encontrarían revistas (transversales) como: *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, *International Journal of Sustainable Engineering*, *Local Environment, Cities and Health*, *Water International*⁵⁸⁶, *Ribagua*⁵⁸⁷, o *Urban Water Journal*.

Puede hablarse de forma general de una comunidad profesional de ingeniería ambiental sanitaria, pero, como hemos ido viendo, también pueden considerarse varias subcomunidades,

⁵⁸⁵ El control y protección de suelos y aguas subterráneas frente a la contaminación no está tan desarrollado ni formalizado como para considerarse, en lo que continúa, un sistema técnico característico claramente identificable de la ingeniería ambiental sanitaria. Por este motivo, como se observará, no se ha considerado como sistema aunque algunos de sus elementos se incluyen en otros de los sistemas técnicos definidos.

⁵⁸⁶ Revista oficial de *International Water Resource Association* (IWRA).

⁵⁸⁷ Revista Iberoamericana del Agua, del World Council of Civil Engineering.

en relación con la función praxiológica dominante: académica (COPAias), dedicada al mantenimiento de la actividad ingenieril en el tiempo, mediante la formación de individuos que pasan a formar parte de la comunidad profesional; investigadora (COPIas) o de cambio, que se orienta al progreso del conocimiento y práctica ingenieril como actualización y avance de la actividad; de producción (COPPias), dedicada a la generación de productos (bienes y servicios) como resultados valiosos; y de gestión (COPGias) dedicada en la ordenación del nivel alto de la actividad ingenieril formativa, de cambio y de producción, típicamente desde la administración pública. Igual que al hablar de forma general de ‘comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria’ se entiende que realmente existen diferentes comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria (de modo a como existen las diversas comunidades científicas para una determinada especialidad), también ocurriría lo mismo cuando se atiende al nivel de subcomunidad de acuerdo con las especialidades prácticas u orientaciones praxiológicas. Puede entenderse entonces que, por comodidad expresiva, hable de ‘subcomunidad profesional’, teniendo presente que esa denominación incluye una diversidad de realidades que bien podrían identificarse como subcomunidades profesionales⁵⁸⁸.

La subcomunidad profesional académico-docente (COPAias) es aquella que tiene como objetivo dar continuidad a la propia comunidad profesional, mediante la incorporación de individuos que llegan a titular en las competencias de la ingeniería ambiental sanitaria. La subcomunidad académico-docente estaría formada, como criterio de pertenencia, por el conjunto de profesionales (profesoras y profesores) que imparten docencia en las escuelas técnicas y facultades que ofrecen las titulaciones profesionales correspondientes a las diversas competencias de la ingeniería ambiental sanitaria. En gran parte del espacio Bolonia estas competencias se adquieren en las escuelas técnicas y facultades de ingeniería civil y ambiental⁵⁸⁹. El profesorado de estas escuelas y facultades está formado tanto por titulados específicamente en ingeniería civil y ambiental, como por titulados en otras tecnologías (de construcción, ingeniería del terreno, ingeniería química...) y en ciencias relacionadas (ciencias ambientales, ciencias geológicas, ciencias químicas...).

En el ámbito norteamericano, la comunidad educativa ingenieril tiene diversos elementos que la articulan, como es American Society for Engineering Education (ASEE)⁵⁹⁰, con una publicación generalista como *Journal of Engineering Education*. En el ámbito europeo, la comunidad educativa ingenieril tiene la European Society for Engineering Education (ESEE), con grupos de especial interés como el de sostenibilidad y ética, y que hace disponible la publicación *European Journal of Engineering Education*. Esta subcomunidad accedería también a revistas educativas y ambientalistas como: *Environmental Education Research*; *International Research in Geographical and Environmental Education*; *Applied Environmental Education & Communication*; o *The Journal of Environmental Education*.

Por otra parte, estaría la subcomunidad profesional de cambio o investigación en la ingeniería ambiental sanitaria (COPIas), cuyo objetivo es promover y producir cambios, mediante acciones de I+D+i para incrementar la novedad de formas, materiales o procesos en los sistemas tecnológicos de la ingeniería ambiental sanitaria. La comunidad estaría formada

⁵⁸⁸ Por ejemplo, en el ámbito euroamericano a que me refiero, bien podría hablarse de las subcomunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria respecto a cada uno de los sistemas universitarios de referencia, constituidos en primera instancia por las normas académicas correspondientes de cada país. Así podría hablarse de subcomunidad profesional académica de la ingeniería ambiental sanitaria española, francesa, británica...

⁵⁸⁹ En España, las competencias de ingeniería ambiental sanitaria están asociadas a las titulaciones de ingeniería de caminos, canales y puertos, así como las de ingeniería de obras públicas, en la intensificación correspondiente.

⁵⁹⁰ Véase <https://www.asee.org>.

por profesionales que participan como agentes intencionales en las funciones praxiológicas de cambio ingenieril, tanto en las de investigación (I+D) como en las de innovación (i) relativas al campo de la ingeniería ambiental sanitaria.

Puede añadirse como particularidad de esta subcomunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria que los componentes profesionales de la subcomunidad de investigación provienen típicamente de un abanico más amplio de perfiles formativos (ingenieriles, tecnológicos y científicos).

En todo caso, a la hora de analizar subcomunidades, en este caso la de cambio ingenieril, se asume que –para un profesional dado– es compatible pertenecer a la subcomunidad de I+D+i y también a otra subcomunidad. Esto es frecuente, por ejemplo, respecto al campo académico, en donde hay profesionales de la subcomunidad académico-docente (COPAIas) que también pueden ser, típicamente, de la subcomunidad de investigación (COPIIas), lo que ocurre en los centros de investigación tecnológica universitarios. También ocurre algo parecido con la subcomunidad de producción ingenieril de la ingeniería ambiental sanitaria (COPPias), desde donde las instituciones empresariales llegan a disponer de centros de investigación e innovación en donde trabajan profesionales de la comunidad productiva. En este caso, se centran sobre todo en la subfunción praxiológica de innovación (*SPRA-CINias*).

A diferencia de las comunidades científicas, las comunidades de investigación (I+D+i) ingenieriles son menos abiertas, y tanto menos cuanto la novedad (formal, material o de proceso) está más cerca de ser incorporada al mercado. Sin embargo, el hecho de que la mayor parte de los servicios (agua, residuos...) que proporciona la ingeniería ambiental sanitaria sean de carácter público hace que, comparativamente a otras disciplinas ingenieriles, esta pueda contarse entre las más abiertas, no solamente en su función praxiológica de cambio sino incluso, en cierta medida, en la función productiva.

Como ejemplo de las revistas técnicas de este tipo de subcomunidad se encontrarían: *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, *Journal of Environmental Science and Health*, *Ecosystem Health and Sustainability*, *Greenhouse Gas Measurement and Management*, *Sustainable and Resilient Infrastructure*; o *Journal of the Air & Waste Management Association*.

La tercera subcomunidad profesional que puede considerarse sería la de producción en ingeniería ambiental sanitaria (COPPias). En ella se reúnen aquellos individuos cuya dedicación profesional tecnológica ingenieril está orientada al diseño de proyectos, construcción y operación de los sistemas artefactivos (y sistemas tecnológicos) característicos de la ingeniería civil y ambiental sanitaria. Por su complejidad, estas labores se realizan típicamente a través de instituciones empresariales (empresas), en donde bien pueden considerarse tres grupos en atención a la orientación de sus acciones. En primer lugar, el de consultoría de proyectos, en donde se elaboran los proyectos y documentos técnicos para la construcción y explotación de los sistemas artefactivos. El siguiente grupo sería el de las empresas dedicadas a la construcción de infraestructuras y equipamientos propios de la ingeniería ambiental sanitaria. En tercer lugar, estaría el grupo de profesionales de esta subcomunidad profesional ingenieril (COPPias) que desarrollan sus funciones en la explotación y mantenimiento de los sistemas tecnológicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

En el caso de las actividades de construcción y explotación de los sistemas tecnológicos de la ingeniería ambiental sanitaria, puede entenderse el interés por considerar una división en la comunidad profesional ingenieril basada en el tipo dominantes de conocimientos ingenieriles disponibles por el individuo: (i) operacionales o primarios; o (ii) representacionales o secundarios. Dos tipos de conocimiento que a su vez se correlacionan con dos tipos profesionales: subcomunidad profesional de conocimientos operativos o

primarios de ingeniería ambiental sanitaria (COP-CING1ias); y subcomunidad profesional de conocimientos secundarios de ingeniería ambiental sanitaria (COP-CING2ias)⁵⁹¹.

Las comunidades profesionales ingenieriles no suelen ser tan abiertas como las comunidades científicas, y esto se hace aún más notorio en la subcomunidad profesional de producción ingenieril, por razones claras de competencia económica. No obstante, existen diversas asociaciones sectoriales (ej. agua, residuos urbanos...) tanto de ámbitos estatales como internacionales, que incluso en este campo de la actividad productiva, promueven intercambios (limitados) de experiencias y de conocimientos prácticos y teóricos. Algunas de estas agrupaciones tienen un carácter más comercial, mientras que otras lo tienen más tecnológico ingenieril. En correspondencia con la forma de agruparse aparecen también las revistas técnicas, de las que pueden señalarse, como ejemplos del segundo caso: *International Journal of Water Resources Development*; *Local Environment*; *Desalination and Water Treatment*; o *Journal of Applied Water Engineering and Research*.

Finalmente puede considerarse una última subcomunidad profesional de gestión y control en la ingeniería ambiental sanitaria (COPGias). Dado que las tareas de este grupo de individuos están orientado a la gestión y control de los distintos sistemas que forman la ingeniería ambiental sanitaria, como al conjunto de la misma, vamos a encontrar perfiles profesionales más cercanos a la gestión. Una gestión que, dado el carácter de los servicios públicos de la ingeniería ambiental sanitaria, está de forma dominante en el ámbito de la administración pública. Tanto en administraciones de distinto nivel territorial, desde el local en donde residen las competencias que justifican los servicios de abastecimiento de aguas y de saneamiento y depuración, así como de la gestión de los residuos sólidos urbanos, hasta los niveles regionales, estatales o internacionales. Del mismo modo, como relevantes actividades de la ingeniería ambiental sanitaria están muy ligadas al agua (como bien y como dominio público hidráulico), supone una relación importante con la administración sectorial hidráulica, así como la administración ambiental en general.

Probablemente porque ya está muy institucionalizada (como sector público), esta subcomunidad profesional de gestión y control cuenta con pocas asociaciones o redes profesionales netamente ingenieriles. Sin embargo, al margen del grado en que la teoría de la gestión pueda estar incorporada a la gestión y control de la ingeniería sanitaria, sí que está disponible un corpus relativamente amplio de materiales técnicos, como se refleja en revistas como: *Ethics, Policy & Environment*; *Journal of Environmental Planning and Management*; *Journal of Environmental Policy & Planning*; *Environmental Politics*; *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*; *Journal of Environmental Economics and Policy*; *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*; *Journal of Responsible Innovation*; o *Engineering Management Journal*.

De lo expuesto puede derivarse una representación gráfica de las diferentes subcomunidades que pueden plantearse en la ingeniería ambiental sanitaria.

⁵⁹¹ En la ingeniería ambiental sanitaria, estos tipos de conocimientos (primarios o secundarios) se corresponderían en España con dos tipos profesionales tradicionales en la ingeniería civil: el de ingeniería técnica de obras públicas, y el de ingeniería de caminos. Las diferencias entre ambos perfiles profesionales se están desdibujando, a partir especialmente de nuevas atribuciones de competencias, junto con el modelo Bolonia de grados en ingeniería, en la Unión Europea.

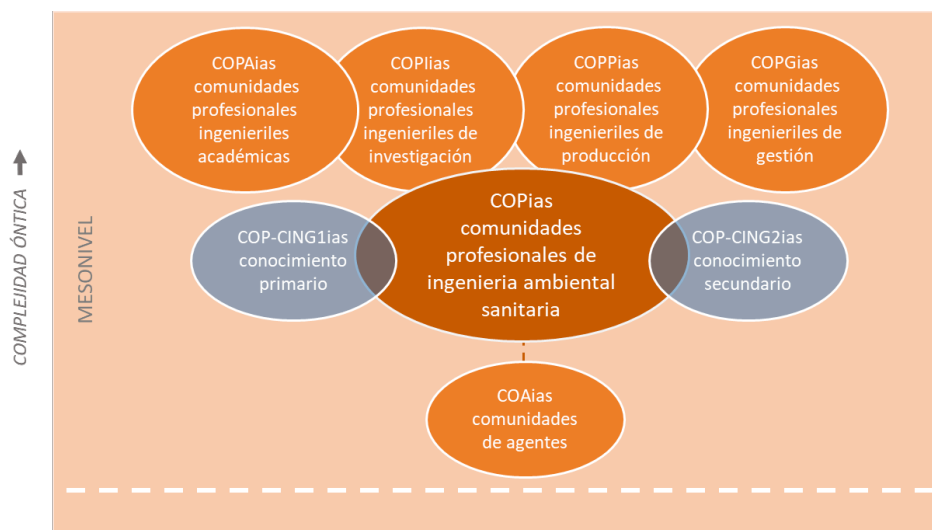


Fig. 7.1.1.b) Especificaciones (tipos) de comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria

Por su parte, las relaciones (S) entre los miembros componentes de la comunidad profesional, se producen a través de sistemas semióticos, tanto lenguajes (naturales y formales) como sistemas gráficos, y se canalizan a habitualmente –mediante al menos un lenguaje específico compartido– a través de comunicaciones (libros y revistas), reuniones (congresos) y redes de intercambio. Este conjunto de relaciones formaría la endoestructura⁵⁹² de la comunidad profesional ingenieril ambiental sanitaria. Estas relaciones, fundamentalmente de naturaleza informativa, se analizan con más detalle en el siguiente apartado, con el estudio de los sistemas puente semióticos, considerando tres grupos para la ingeniería ambiental sanitaria: lenguajes naturales (*SLNias*), lenguajes formales (*SLFias*) y sistemas gráficos (*SGias*).

Por otro lado, en tanto componente-sistema, la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria (*COPIas*) se encuentra relacionada con dos entornos (E), donde sus relaciones configuran la exoestructura. Así puede hablarse de un entorno inmediato (E_{inm}), formado por los otros componentes del sistema óntico ingenieril, y con los componentes de los otros sistemas (semiótico, epistémico, metodológico, axiológico, ético y praxiológico). En segundo lugar, con un entorno próximo (E_{prox}) del supersistema social (político, económico y cultural), en donde se incluye el entorno medioambiental del supersistema ecológico.

De lo anterior, podría representarse la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria, en tanto componente-sistema del sistema óntico de esta ingeniería (*SON(i)-COPIas*), como:

$$SON(i)-COPIas = \langle COPAias, COPIas, COPPIas, COPGIas, COP-CING1ias, COP-CING2ias, SLNias_n, SLFias_n, SGias_n, E_{\text{inm}}, E_{\text{prox}} \rangle$$

en donde:

COPAias : subcomunidades profesionales académicas de ingeniería ambiental sanitaria,

⁵⁹² Quiero precisar que esas relaciones entre miembros de la comunidad, en tanto comunidad como sistema (comunidad-sistema), se refieren a las que específicamente dan sentido a la comunidad como tal, sin tener ahora en cuenta otras relaciones como las que pueden producirse entre miembros de la comunidad cuando están desarrollando funciones praxiológicas, como puede ser la producción o la evaluación. Por ejemplo, cuando un supervisor del mercado eléctrico evalúa las operaciones de la dirección de una central hidroeléctrica, se trataría de una relación en el sistema praxiológico, pero no de una relación dentro del componente-sistema comunidad profesional de la ingeniería energética.

COPIas : subcomunidades profesionales de investigación de ingeniería ambiental sanitaria;

COPPIas : subcomunidades profesionales de producción de servicios de la ingeniería ambiental sanitaria, incluyendo las de proyectos, construcción y explotación de infraestructuras de ingeniería ambiental sanitaria;

COPGias : subcomunidades profesionales de gestión y control de la ingeniería ambiental sanitaria;

COP-CING1ias : subcomunidades de profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria formados en conocimiento ingenieril primario u operacional (FC-ING1);

COP-CING2ias : subcomunidades de profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria formados en conocimiento ingenieril secundario o representacional (FC-ING2);

SLNias_n : lenguajes naturales (lenguaje ordinario, científico, técnico), con variaciones idiomáticas (ej. inglés, castellano...);

SLFias_n : lenguajes formales (lógico-matemáticos, informáticos) compartidos;

SGias_n : sistemas gráficos icónicos o simbólicos (topográficos, cartográficos y especiales).

E_{imm} : entorno inmediato de sistemas, que incluye el resto del sistema óntico (*SONias*), así como el resto de los sistemas del sistema complejo ingenieril (epistémico, *SEPIas*; metodológico, *SMEias*; axiológico, *SAXias*; ético, *SETias*; y sistemas funcionales praxiológicos, *SPRAias*);

E_{prox} : entorno próximo de sistemas, que incluye el supersistema social *SOC* y subsistemas (político *SOCpol*, económico *SOCeco* y cultural *SOCcul*) y, en su caso, el supersistema ecológico (*S²ECOL*).

7.1.2 Subsistema óntico (ii): sistemas artefacticos en ingeniería ambiental sanitaria

El sistema óntico material de la ingeniería ambiental, además del grupo formado por componentes de agencia humana (individuos y comunidades), cuenta con un grupo o subsistema óntico en el que se incluyen los artefactos y sistemas artefacticos más relevantes para el conjunto del sistema óntico y por tanto para toda la ingeniería ambiental sanitaria. La idea de este subsistema óntico (ii) es que pueda recoger organizadamente la mayor parte del conjunto de objetos materiales que forman parte relevante de los sistemas tecnológicos productivos⁵⁹³, bajo la lógica ingenieril recurso-artefacto-producto (R-A-P), y de acuerdo con un orden de complejidad óntica creciente.

Así, voy a considerar tres tipos de objetos con que puede darse cuenta de gran parte del esquema de la actividad productiva ingenieril: i) recursos; ii) artefactos; y iii) productos. Puede decirse que estos tres grupos de objetos ‘trabajan juntos’ en la ingeniería. Con este planteamiento el artefacto se presenta como mediador entre los recursos (objetos simples o complejos, naturales o artificiales) y los productos (bienes o servicios) en tanto resultados considerados valiosos. El artefacto, que es esencial para la tecnología ingenieril, no siempre será el objetivo final de la actividad intencional ingenieril, sino que también aparece como un medio para los procesos ingenieriles, en los que se encontrarán inicialmente los recursos y, posteriormente, los productos. La terna recursos-artefactos-productos (R-A-P) articula este

⁵⁹³ Este subsistema óntico (ii) está centrado en los objetos y artefactos que se emplean habitualmente en los procesos productivos (función praxiológica iii) de la ingeniería. Por supuesto que los otros procesos ingenieriles, como el académico-docente, el de investigación o el de gestión, tienen asociados objetos y artefactos característicos, pero –en lo posible– los voy a considerar, en su caso, en el subsistema óntico (iii) del complejo institucional.

subsistema (ii) de la ontología material. Esta terna podría mostrarse, aún de forma más general, como *inputs*-(artefacto transformador)-*outputs*.

Como puede observarse, en la representación gráfica de este subsistema óntico se organiza en tres columnas, que corresponden con la terna (R-A-P) y al tiempo se organiza en niveles de complejidad óntica, desde un nivel básico (0) hasta el de mayor complejidad (5). Para definir el conjunto de elementos de este subsistema, voy a basarme en los sistemas técnicos fundamentalmente materiales⁵⁹⁴ característicos del sistema praxiológico de la ingeniería ambiental sanitaria, entre los que se encuentran servicios públicos urbanos tan relevantes como: (i) captación, tratamiento y abastecimiento de agua potable (*STabu*); (ii) saneamiento, depuración y vertido de aguas residuales urbanas (*STdru*); (iii) drenaje de aguas pluviales y escorrentías urbanas (*STdeu*); (iv) recogida, transporte y tratamiento de residuos sólidos urbanos (*STrsu*); (v) control y reducción de contaminación del aire y acústica en núcleos urbanos (*STcau*).

Puede observarse que la actividad de la ingeniería ambiental sanitaria se orienta a la provisión de servicios públicos básicos (de tipo urbano), de modo que son de ese tipo los resultados perseguidos por la acción transformadora ingenieril. Por este motivo, al tiempo que empleo el modelo recurso-artefacto-producto, voy a utilizar el modelo más general *inputs-artefactos-outputs*, con el que creo que puede darse cuenta mejor del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria. Además, estos sistemas tecnológicos presentan dos características acusadas, en tanto ‘sistemas situados’: que están insertos en espacios urbanos (ciudades, agrupaciones de ciudades...) puesto que son servicios urbanos, relativos a las necesidades de la población; y que están estrechamente vinculados a componentes abióticos del ecosistema (aire, agua y suelos). Sin embargo, estas dos características no se reflejan ahora, en el subsistema artefáctico de la ingeniería ambiental sanitaria, sino que se van a contemplar en el último subsistema óntico, toposistema, en donde se da cuenta de los elementos que interesan del hecho de ser parte de la ciudad, y también de involucrar a los medios abióticos (aire, agua y suelo) del sistema ecológico en que se encuentra situado el sistema de la ingeniería ambiental sanitaria.

Entonces, esta parte incluye una descripción y representación de los componentes artificiales que son más importantes para el ensamblaje y operación de esos sistemas tecnológicos característicos. De forma muy general, la parte física material de estos sistemas tecnológicos consta de tres apartados: (i) el denominado obra civil, como parte estructural, realizada a partir de distintos materiales de construcción, lo que responde a los tipos ontológicos de productos constructivos (PROⁿ-CON); (ii) de una parte de equipos, responsables de los procesos de transformación, que se enmarcarían en los tipos ontológicos de artefactos (ARTFⁿ); y (iii) de instalaciones, para el intercambio de materia, energía o información, correspondiente con los tipos ontológicos de productos artefácticos (PROⁿ-ART). Haciendo un símil anatómico, serían los equivalentes al esqueleto, los órganos vitales y sus conducciones.

En cuanto al nivel de complejidad de estos sistemas tecnológicos puede señalarse que cuando se consideran por separado los elementos de los tres apartados (obra civil, equipos e instalaciones), se les puede asignar niveles de complejidad óntica desde el nivel 1, de artefactos físicos simples, hasta el nivel 3, de complejos artefácticos automáticos. Cuando se analizan los sistemas tecnológicos completos funcionales, su complejidad se encontraría entre el nivel 3, complejos artefácticos automáticos, y el nivel 5, redes de sistemas complejos

⁵⁹⁴ Con esto se excluye, singularmente, un sistema técnico como sería el de evaluación ambiental (evaluación estratégica y evaluación de impacto ambiental) de obras y actividades clasificadas.

artefácticos, según el nivel de complejidad sistémica, el nivel óntico de los componentes⁵⁹⁵ o de la magnitud de los sistemas tecnológicos.

Para facilitar la descripción y representación de la ontología artefáctica de estos sistemas tecnológicos característicos voy a proceder al análisis básico de cada uno de ellos. Para esto, procedo a identificar la serie de elementos materiales que llevan a disponer de un sistema completo funcional básico de cada uno de los servicios públicos ambientales señalados.⁵⁹⁶

Para cada uno de ellos se puede trazar, mediante la descripción técnica de los diversos sistemas tecnológicos, un proceso secuencial que necesita del concurso de una serie de componentes determinados. Esa descripción puede revisarse y completarse con los componentes descritos en documentación y bibliografía de referencia. A partir de lo anterior procedo a seleccionar los componentes relevantes y situarlos en la representación de tipos (recursos-*inputs*, artefactos, productos-*outputs*) y niveles ontológicos, con el objeto de avanzar en la formalización propia de este subsistema óntico (ii) de artefactos y sistemas artefácticos de la ingeniería ambiental sanitaria.

7.1.2.1 Sistema técnico de captación, tratamiento y abastecimiento de agua potable

Este sistema técnico de abastecimiento de agua potable a medios urbanos (*STabu*) tiene como objeto proveer de agua potable (de una determinada calidad para su uso como agua de bebida y otros usos domésticos e industriales) a los distintos usuarios (consumidores) de una entidad urbana. Esto significa trasladar un determinado volumen de agua en un tiempo (un caudal), con una calidad objetiva, hasta un número de usuarios individualizados, que puede superar los millones, si bien en las ciudades intermedias de Europa y América puede encontrarse típicamente –para un sistema dado– en el orden de los cientos de miles. Se trata de un servicio básico y fundamental para la salud pública, tanto por la cantidad como por la calidad del agua que debe garantizarse de forma continuada. Los cinco estadios de este proceso se muestran, generalizados, en el diagrama adjunto: masa de agua (regulable), captación, tratamiento y distribución, hasta llegar al uso de esa agua potabilizada.

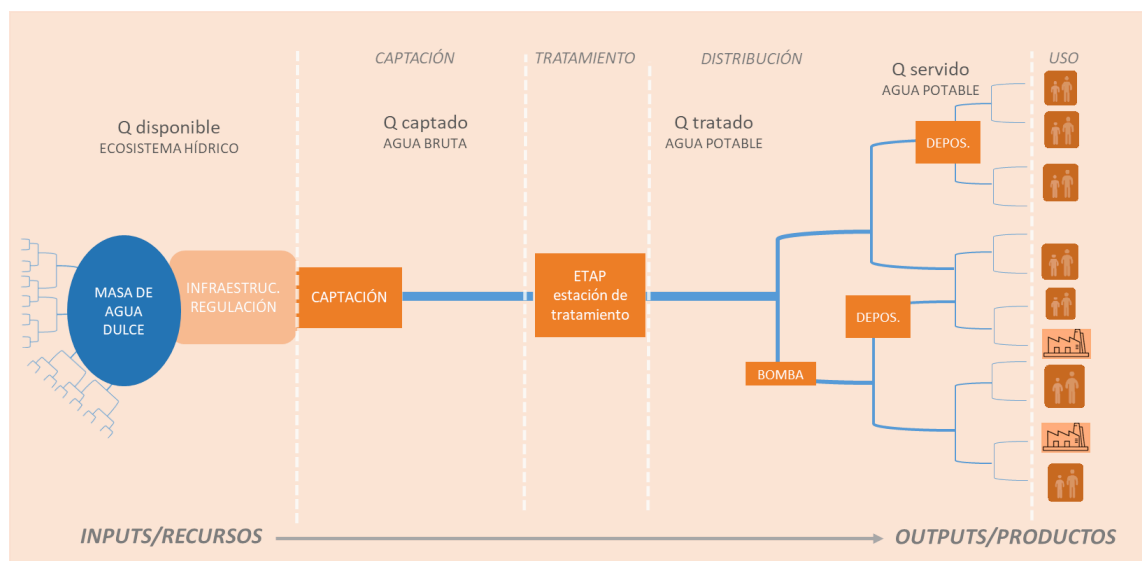
De acuerdo con el diagrama, esta provisión se realiza a partir de una masa de agua (río, lago, acuífero, embalse...) con una determinada calidad, mediante una captación que depende del tipo de masa de agua y de su dinámica. El tipo de captación, y el número de dispositivos está relacionado con la disponibilidad a lo largo del tiempo (anual e interanual) de agua dulce (bruta)⁵⁹⁷ para abastecer a la población objetivo. Habitualmente esta captación está ligada a sistemas artefácticos de regulación hídrica (presas, campos de pozos...). En la captación regulada se obtiene un determinado caudal de agua bruta dulce, que se transporta (por

⁵⁹⁵ En esto aplico un ‘principio’ ya sugerido para este mismo apartado (subsistema de artefactos) del modelo de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería, donde el nivel óntico (máximo) de un artefacto (o sistema) será el nivel óntico del componente (relevante) de mayor nivel.

⁵⁹⁶ Esta descripción y representación de los componentes materiales (artefácticos) de los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria forma parte de la metodología que se está proponiendo de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería. Por tal motivo, este tipo de descripciones y representaciones no se han encontrado –hasta donde alcanza esta afirmación– en las diferentes obras de ingeniería ambiental sanitaria consultadas. Sin embargo, se refieren al estado (genérico) de la cuestión, de la que se considera una amplia referencia básica de partida la *Ingeniería Sanitaria y Ambiental* (2004) de Tejero, Suárez, Jácome y Temprano. Para los sistemas de saneamiento y, especialmente para el sistema técnico de drenaje urbano, se ha partido como referencia de la obra *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano* (2008) de Puertas, Suárez y Anta (coords.).

⁵⁹⁷ La calidad del agua bruta, de partida, depende de condiciones propias del territorio. Aunque habitualmente se buscan disponer de fuentes de suministro de agua dulce lo más seguras, con el mayor caudal y con la mejor calidad, no siempre se compaginan esas cuatro condiciones. También se puede proceder a partir de agua salada o salobre, mediante procesos de desalinización, pero voy a considerar este como un caso particular de condiciones de calidad del agua bruta. Por lo general voy a suponer que se parte de un agua dulce de suficiente calidad, cantidad y disponibilidad.

gravedad, en el caso de diferencia de cota suficiente, o por impulsión mediante bombeo) a través de las correspondientes conducciones (de la que una denominación típica es la de ‘acueducto’), hasta una estación de tratamiento de agua potable (ETAP).



7.1.2.a) Diagrama de procesos y elementos del subsistema óptico (ii) de abastecimiento de agua (STabu)

La estación de tratamiento de agua potable (ETAP) es un sistema artefáctico cuya función es, a partir de un caudal de agua bruta con una determinada calidad, obtener un caudal de agua tratada que responda a una serie de parámetros de calidad organoléptica, biológica y química. El tratamiento supone procesos físico-químicos, como: decantación, filtrado y desinfección.

El agua tratada pasa a la red de distribución, de modo que, a través de diferentes conducciones y depósitos, que hacen de nodos, se va produciendo un reticulado progresivamente más capilar, hasta llegar, muy habitualmente, a los órdenes de decenas de miles o centenares de miles de puntos de suministro individualizado. Las condiciones del servicio requieren que en cada uno de esos puntos finales de suministro esté disponible, permanentemente, un caudal de agua con una determinada presión, y con calidad potable.

A partir de lo anterior, podrían identificarse con más detalle los componentes ópticos (artefácticos) de un sistema técnico (tipo) de abastecimiento. En una primera aproximación, el orden (siguiendo el flujograma) desde la captación hasta el uso de las aguas potables, puede resultar útil para identificar los componentes de lo que sería un sistema técnico completo, pero no de gran magnitud ni complejidad, de captación, tratamiento y abastecimiento de aguas potables. Los elementos pueden agruparse en cuatro: (i) infraestructuras de regulación hídrica (interanual o anual) de la masa de agua; (ii) captación (en horizontal o en vertical) de las aguas y conducción hasta planta de tratamiento; (iii) estación de tratamiento de aguas potables (ETAP); y (iv) red de regulación y distribución de las aguas tratadas hasta los consumidores.

Respecto a las infraestructuras de regulación de la masa de agua disponible, ya se ha señalado que sólo se hace necesaria a partir de una determinada demanda de volumen de agua. Esto significa que en los sistemas más sencillos apenas es necesaria –aunque siempre deseable– esta función auxiliar de regulación, y también significa que a mayor magnitud del sistema técnico de abastecimiento (en términos de población abastecida) se necesitará una mayor capacidad de regulación hídrica (interanual o anual) según el régimen de pluviosidad

de territorio de la cuenca. Esta infraestructura, como puede ser una presa, podría considerarse en el caso más sencillo como un producto artefáctico (o también como producto construido, PROⁿ-CON) a partir del nivel 3 de complejidad óptica (PRO³-ART), de complejos artefácticos. Esto significa que es a partir de este nivel cuando se tiene la posibilidad de incorporar estos elementos (ej. presas) como artefactos de un nivel más complejo.

De este modo, el nivel base de complejidad óptica de la presa (y embalse, como masa de agua dulce regulada) sería el de un sistema complejo artefáctico de servicios ecosistémicos de una masa de agua dulce (ARTF⁴-ECOMad); considerando como una regulación hídrica de magnitud media aquella que solamente afecta al curso alto o medio de una sola cuenca hidrográfica. En sistemas aún mayores, la complejidad óptica del sistema de regulación (interviniendo diversas cuencas, o grandes volúmenes de agua, o fuentes muy diversas) sería ya la de un complejo en red de regulación hídrica (ARTF⁵-ECOMad). Todo esto hace que los sistemas de regulación hídrica, que ya aparecen incorporados en la mayoría de los abastecimientos, tengan una función mediadora entre los recursos hídricos naturales disponibles y las necesidades de agua de una determinada población, a través de una captación de agua bruta. En estos sistemas de regulación el agua es un componente incorporado, que está dejando de ser un componente (o flujo material, según se considere) no regulado del supersistema ecológico⁵⁹⁸, y que puede representarse como una masa de agua dulce del subsistema hídrico (ECOLⁿ-HIDmad).

El siguiente grupo de elementos es la captación del agua. Es el dispositivo (o dispositivos, para sistemas progresivamente más complejos) en donde el agua, regulada o no, se incorpora efectivamente al sistema técnico de abastecimiento. Puede ser el caso de una represa de derivación (PRO²-CON) o de pozos de abastecimiento (ART³-MEC) con bombas eléctricas (ARTF³-ME). Voy a considerar como tipo general el de una presa con canal de derivación para la captación de agua potabilizable (PRO²-CONcap).

Este agua tiene unas características (cota o altura de captación, caudal instantáneo disponible, calidad del agua...) que determinan las operaciones subsiguientes a partir de este recurso material (RECⁿ-MAT)⁵⁹⁹, de modo que el agua podría entenderse entonces como un objeto material componente (C) del sistema, aunque también puede considerarse –a ciertos efectos– como relación (S) en tanto materia que fluye entre los componentes del sistema de abastecimiento. Siguiendo con el tipo de captación, este recurso material sería en tal caso de tipo hídrico de agua dulce (REC²-MAThad).

En tanto recurso hídrico, el agua bruta responde a unas determinadas características físicas, composición química y microbiológica que reflejan las condiciones de partida y la dinámica de la masa de agua en su sistema ecológico (ECOLⁿ-HIDmad)⁶⁰⁰, de entre los que se seleccionan unos determinados parámetros de control, entre los que destacan: temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, conductividad, pH, componentes químicos mayoritarios (bicarbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, sodio), componentes químicos minoritarios (metales...), así como componentes microbiológicos (bacterias coliformes...).

⁵⁹⁸ Un caso claro del agua y sistemas ecológicos se observa en los ecosistemas fluviales, unos sistemas característicos en donde la fluencia del agua es responsable de la mayor parte de las características definitorias del ecosistema.

⁵⁹⁹ El nivel de complejidad óptica del agua de captación está relacionada con su origen, desde el de un agua fluyente como objeto natural (OBN), pasando por un agua fluyente captada directamente (REC¹-MAT) pasando por un agua bombeada manualmente (o animal) (REC²-MAT), pasando a agua con bombeo eléctrico (REC³-MAT), hasta un agua bruta procedente de un sistema complejo de regulación hídrica con intercambios (REC⁴-MAT).

⁶⁰⁰ Este componente no pertenece al subsistema artefáctico, sino al toposubsistema (iv) ecológico (TOP-ECOL), pero se incluye porque constituye el punto de partida. De igual modo ocurre con puntos de partida o puntos finales del resto de los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria. Por este motivo, en la representación se utiliza un color diferente (verde o azul) y en la serie de componentes se explicita que se trata de un componente del toposubsistema ecológico.

Los resultados de las determinaciones físicas, químicas y microbiológicas permiten que esa agua bruta captada esté caracterizada por unos parámetros de calidad, lo que significa que ese recurso incorporado tenga asociada una información descriptiva, que se considera como recurso inmaterial informativo (REC³-INFcal).

Desde el punto de captación, en donde se controla (aforo de caudal) la cantidad de agua bruta, el recurso hídrico se traslada mediante conducciones (PRO²⁻³-CONtac)⁶⁰¹ para acercarlo a la zona de abastecimiento, generalmente una concentración de población urbanizada. Habitualmente ese transporte se ha venido haciendo desde cotas más altas hasta más bajas, buscando realizar ese traslado sin tener que efectuar bombeos, con los consiguientes costes adicionales en equipos (bombas, incluidos dispositivos de control) y consumo energético (electricidad), en cuyo caso habría que incorporar artefactos electromecánicos del nivel óptico 3 (ARTF³-ME).

El siguiente elemento en el sistema técnico de abastecimiento es la planta o estación de tratamiento de aguas potables (ETAP), que responde al volumen de agua a tratar, a la calidad de las aguas de partida y a la complejidad del sistema técnico. La ETAP, como sistema, sería un complejo artefacto de tipo mecánico eléctrico para el tratamiento de aguas potables (ARTF³-MEtrap). A su vez, la ETAP estaría compuesta por diversas construcciones u obra civil (PRO²-CONtrap), además de por productos artefactos del nivel óptico segundo como filtros y reactores químicos (PRO²-ARTtrap). En la estación de tratamiento se produce la transformación de las condiciones de calidad del agua captada para llevarla hasta los parámetros de referencia de normativa legal y capacidad técnica, como producto material (PRO³-MATHap), en un nivel de calidad que debe mantenerse hasta el suministro en baja, hasta los puntos finales de consumo.

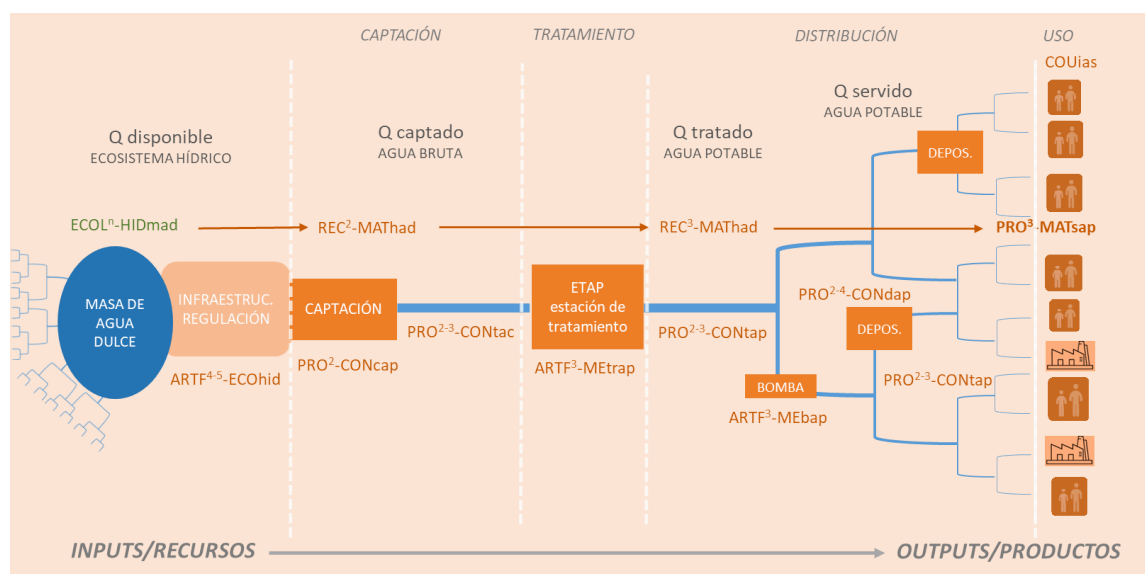


Fig. 7.1.2.b) Componentes de sistema óptico (ii) artefacto de abastecimiento agua (SON(ii)-ART-STabu)

Desde la ETAP comienza la distribución del agua, a través de una red de conducciones de tuberías de agua potable (PRO²⁻³-CONtap), bombes de agua potable (ARTF³-MEbap) y

⁶⁰¹ El nivel óptico (2 ó 3) de este tipo de productos construidos dependería del tipo de material de las conducciones, aunque también pueden contarse otras características como la magnitud y complejidad. De forma normal, las exigencias técnicas del tramo de conducción desde la captación hasta la planta de tratamiento podrían alcanzarse ya desde el nivel óptico 2.

depósitos de agua potable (PRO²⁻⁴-CONdap). La red tiene que pasar desde unas conducciones mayores hasta la acometida individual del consumidor, lo que supone dividir en miles de ramales esa red, con las necesidades subsiguientes de controles de caudal (caudalímetros) hasta los puntos de suministro⁶⁰² del producto final del sistema de abastecimiento, como es el servicio de agua potable (PRO³-MATsap).

En resumen, los componentes del sistema óntico (ii) artefáctico de abastecimiento de aguas (*SON(ii)-ART-STabu*), que también aparecen representados gráficamente (a excepción de los niveles de macrocomplejidad óntica de los sistemas artefácticos de servicios urbanos de abastecimiento, ARTF⁴⁻⁵-SURaba), serían:

$$C_SON(ii)-ART-STabu = < ECOL^n-HIDmad, PRO^2-CONcap, REC^2-MATHad, \\ ARTF^{4-5}-ECOMad, PRO^{2-3}-CONtac, ARTF^3-METrap, PRO^2-ARTtrap, \\ PRO^2-CONtap, REC^3-MATHap, PRO^{2-3}CONtap, PRO^{2-4}-CONdap, \\ ARTF^3-MEBap, PRO^3-MATsap, ARTF^4-SURaba, ARTF^5-SURaba >$$

donde,

ECOLⁿ-HIDmad : recursos hídricos disponibles en una masa de agua dulce con un nivel *n*, de complejidad óntica del sistema ecológico (es componente del toposubsistema óntico ecológico, SON-TOP-ECOL) ;

PRO²-CONcap : dispositivo hidráulico construido sencillo, como represa y canal para la derivación y toma de agua superficial potabilizable;

REC²-MATHad : agua bruta captada (*input* principal del sistema de abastecimiento), como recurso material hídrico de agua dulce, caracterizado por su cota (altura), caudal y calidad de origen (asociada a la información de calidad, REC³-INFcal).

ARTF⁴⁻⁵-ECOMad : para el macronivel óntico, se trata de los sistemas hídricos regulados, según diverso nivel de complejidad (cuencas hidrológicas afectadas) y magnitud, en relación con la demanda de agua de la población abastecida (metropolitana o mayor);

PRO²⁻³-CONtac : tuberías de aguas captadas como conducciones primarias, habitualmente por gravedad, de gran diámetro, con nivel óntico diferenciable según el material (ej. nivel 3 para fundición) y la complejidad y magnitud del sistema;

ARTF³-METrap : estación de tratamiento de aguas potables (ETAP) como complejo artefáctico, que a su vez se compone de elementos constructivos (PRO²-CONtrap) como tanques y líneas de tuberías, y productos artefácticos específicos (PRO²-ARTtrap) como filtros y reactores químicos, además de productos artefácticos más generales (PRO²⁻³-ART) como tuberías, válvulas, calderines o llaves.

PRO²-ARTtrap : productos artefácticos específicos para tratamiento de agua potable, como filtros y reactores químicos, y otros generales como tuberías, válvulas, o calderines de material del nivel óntico 2;

PRO²-CONtrap : elementos constructivos relacionados con el abastecimiento de agua como edificaciones, canales, tanques, depósitos, líneas y redes de tuberías (equivalente a la obra civil de la ETAP);

REC³-MATHap : agua tratada potable, como recurso material hídrico a partir de REC²-MATHad (caracterizada por su caudal y calidad de origen) hasta los niveles objetivos de los parámetros de calidad de diseño del sistema general y de la ETAP;

⁶⁰² Un punto de suministro es un punto de facturación, por lo que debe disponerse de la información individualizada de consumo para poder convertir ese consumo en el importe que deberá abonarse por el agua servida. Esto es el resultado final de la información económica que forma parte de los flujos informativos del sistema técnico de abastecimiento.

PRO²⁻³-CONtap : construcciones de líneas y redes de tuberías a presión para agua potable, a partir de ETAP, tanto las conducciones principales (mayor diámetro) como las conducciones secundarias, y hasta los puntos de suministro individual.

PRO²⁻⁴-CONdap : depósitos de agua potable, construidos como elementos de regulación para la red de distribución, entre la producción de agua potable de la ETAP y los caudales suministrados a los consumidores urbanos, con nivel óptico (2-4) según los materiales, controles e integración en sistemas mayores;

ARTF³-MEbap : bombas eléctricas para la impulsión de las aguas potabilizadas en cualquiera de las zonas de la red de distribución hasta las cotas y con la presión requerida;

PRO³-MATsap : suministro de agua potable, como producto material final (*output* más relevante) del sistema técnico de abastecimiento, una determinada cantidad y calidad de agua potable para abastecimiento, que puede asociarse a un nivel óptico equivalente al general del sistema técnico, aunque bajo determinadas condiciones (eficiencia, calidad y control), podría corresponder con niveles ópticos inferiores (2) o superiores (4);

ARTF⁴-SURaba : para el macronivel óptico, sistema complejo artefáctico de servicios urbanos de abastecimiento de aguas (ej. abastecimientos metropolitanos, con poblaciones servidas cientos de miles o millones de habitantes), como sistema de nivel óptico 4, formado por ensamblaje de sistemas de abastecimiento del nivel óptico 3, o por incluir elementos esenciales del nivel óptico 4, como cuando se obtiene el recurso hídrico a partir de sistemas de regulación hídrica (ARTF⁴-ECOMad);

ARTF⁵-SURaba : para el macronivel óptico, se trata de redes de sistemas complejos de servicios urbanos de abastecimiento (ej. abastecimientos de ámbito regional o estatal, con poblaciones servidas de millones o decenas de millones de habitantes), formado por ensamblaje de sistemas de abastecimiento de nivel óptico 3 o 4, y que depende de sistemas complejos de regulación hídrica (ARTF⁵-ECOMad).

Con todo lo anterior se procura hacer una aproximación a lo que podrían ser los componentes artefácticos (en el amplio sentido de recurso-artefacto-producto) de un sistema técnico de abastecimiento urbano de agua potable (*STabu*). Se trataría de un sistema tipo para los servicios ambientales sanitarios que se darían actualmente en una ciudad europea o norteamericana.

Sin embargo, con la elucidación sistemista se está procurando alcanzar un grado mayor de generalización, de modo que se tengan presentes no sólo ciertas realidades materiales de la actividad de la ingeniería ambiental sanitaria, sino que se tengan presentes también los conocimientos de realidades históricas, así como la historicidad del sistema óptico artefáctico de esta disciplina ingenieril, y también la pluralidad tecnológica.

Entonces, a partir de los conocimientos disponibles y de la estructura general del subsistema óptico (ii) de la ingeniería según el formato R-A-P, y según la gradación de niveles de complejidad óptica, propongo una representación básica de lo que entiendo serían los conjuntos de componentes materiales artificiales de mayor utilidad para la descripción y análisis de sistemas técnicos de abastecimientos de aguas urbanas.

Los grupos de componentes que se han destacado en color más oscuro corresponden a aquellos que están más directamente relacionados con el sistema técnico de abastecimiento, si bien se entiende que todos los componentes son necesarios puesto que se establecen entre ellos diversas relaciones de dependencia (precedencia y descendencia, en particular).

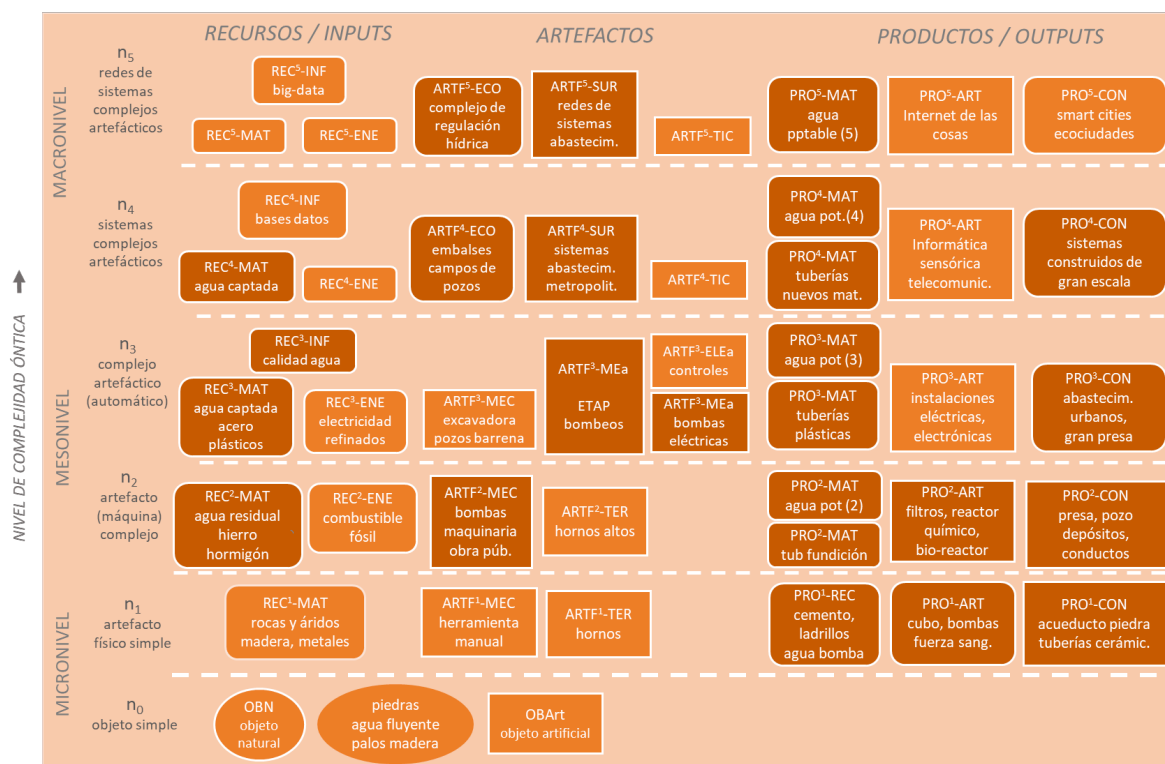


Fig. 7.1.2.c) Componentes del subsistema óptico (ii) artefáctico: un sistema técnico de abastecimiento

Esta representación incluye, para cada una de las tres familias ópticas (recurso-*input*, artefacto, producto-*output*) su progresión en términos de complejidad óptica. Debe señalarse que los niveles ópticos son inclusivos, esto es, se entiende que un nivel óptico 3, por ejemplo, presupone la disponibilidad de los precedentes.

7.1.2.2 Sistema técnico saneamiento, depuración y vertido aguas residuales urbanas

Este sistema técnico de saneamiento y depuración de aguas residuales urbanas (*STdru*) sería, por así decirlo, especular al sistema de abastecimiento. Pues tiene la función de recoger y concentrar las aguas residuales (con carga contaminante) generadas durante los procesos de uso del agua abastecida, e ir reuniéndolas para conducir las a una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) en donde se realiza un tratamiento depurador hasta conseguir una calidad adecuada para su vertido, mediante emisario, a medio hídrico receptor. La función entonces es la recuperación de la calidad de las aguas utilizadas y su devolución en adecuadas condiciones de calidad al medio hídrico receptor.

Las fases de este proceso son: saneamiento mediante colectores de las aguas residuales producidas de forma individual, y concentración en colectores con capacidad adecuada para su transporte, eventualmente con bombeos, hasta una estación depuradora de aguas residuales (EDAR), y posterior vertido de las aguas al medio receptor. Se incluye la opción alternativa de una estación para la regeneración de las aguas residuales para un uso determinado. Dado que el tratamiento de depuración parte habitualmente de la premisa de separar una línea de agua de una línea de fangos, el resultado obtenido incluye no solamente el vertido de aguas residuales tratadas, sino también la obtención de un volumen importante de biosólidos, que tiene un destino diferenciado.

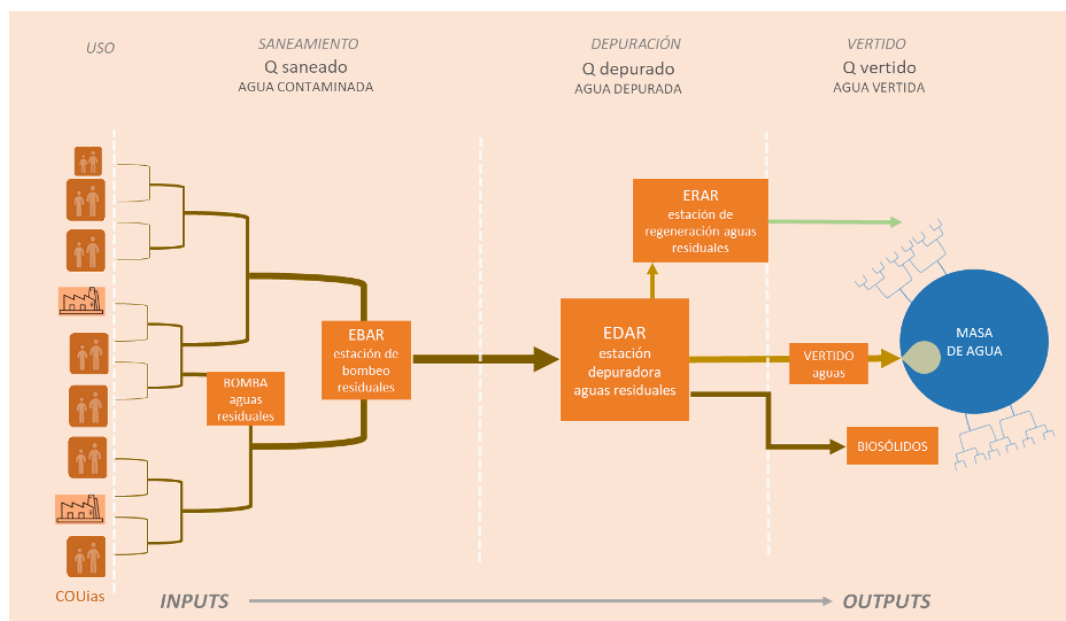


Fig. 7.1.2.d) Diagrama de procesos y elementos del subsistema óptico (ii) de saneamiento y depuración

Siguiendo un método semejante al del sistema de abastecimiento, en el sistema de saneamiento, depuración y vertido de aguas residuales urbanas, voy a identificar los componentes artefactivos más importantes de este sistema técnico de la ingeniería ambiental, según los tipos de la lógica ingenieril (recurso-*input*, artefacto, producto-*output*) para cinco niveles de complejidad óptica. En todo caso, tiene que quedar claro que en este sistema el *input* básico es un caudal de agua residual urbana (o urbana-industrial, de forma más general) y el output deseado es la devolución a un medio receptor de un caudal de agua conforme a unos parámetros de calidad física, química y biológica. En este sistema técnico hay un sistema artefactivo que es por completo determinante: la estación depuradora de aguas residuales (EDAR). También conviene observar que este esquema serviría para un modelo de saneamiento separativo, en donde las aguas residuales urbanas, exclusivamente, se recogen y se trasladan para su tratamiento a la EDAR. Sin embargo, en los casos reales, en donde el sistema de saneamiento es el resultado de un largo proceso histórico de construcción, en estas redes hay aportaciones de aguas procedentes del drenaje pluvial o de entradas de aguas subterráneas.

Esto lleva a la caracterización de dos tipos de redes, las redes unitarias, en donde el saneamiento incorpora en gran medida las aguas pluviales de escorrentía, y las redes separativas, en que hay una red exclusiva para el saneamiento de las aguas residuales, y otra para el drenaje de pluviales y escorrentías urbanas. Para presentar de forma separada los sistemas técnicos del agua urbana he optado por considerar el modelo urbano de redes separativas, primero con el presente sistema técnico de saneamiento y depuración de aguas residuales, y después con el sistema técnico de drenaje de aguas pluviales y escorrentías urbanas. Los casos de redes unitarias son sistemas técnicos mixtos que incluyen elementos de los dos anteriores.

Así pues, en este punto se procede a identificar al conjunto de los objetos artefactivos, en un sentido amplio, que componen el sistema técnico de saneamiento, depuración y vertido de aguas residuales urbanas. El elemento de partida son las aguas residuales urbanas, que se

entienden como un producto de al menos el nivel óntico segundo (PRO^2 -RESaru), generadas cuando las aguas potables ya suministradas⁶⁰³ se contaminan por la actividad doméstica y urbana relacionada de un conjunto de usuarios (COUias) del sistema de la ingeniería ambiental sanitaria, típicamente de una población urbana.

Esas aguas residuales urbanas, caracterizadas por unas cargas contaminantes determinadas, son evacuadas a través de las redes de saneamiento, desde los lugares individuales en que se producen. Esto se realiza a través de dispositivos sanitarios y redes de colectores (PRO^2 -CONtar1-n), como productos construidos, progresivamente hasta los colectores primarios (PRO^2 -CONtar1), de forma que se concentren los volúmenes de aguas residuales, que pueden entenderse como los recursos (inputs) materiales de aguas residuales (REC^2 -MATaru).

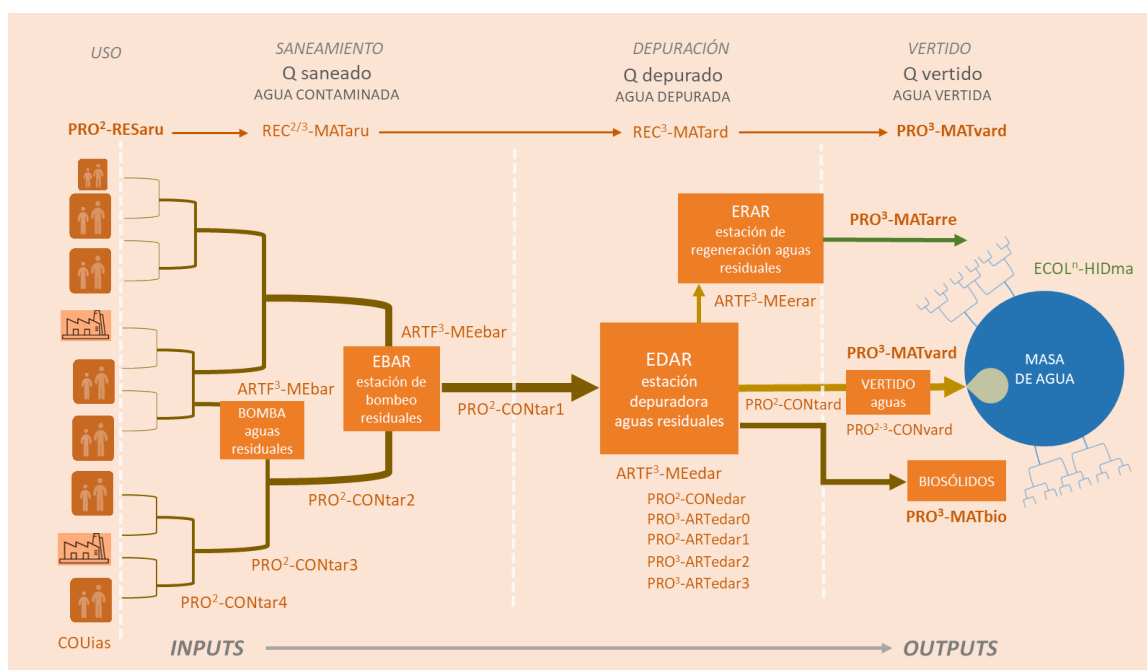


Fig. 7.1.2.e) Componentes de sistema óntico (ii) artefáctico: saneamiento y depuración ($STdru$)

Puede considerarse la presencia de equipos de bombeo de aguas residuales ($ARTF^3$ -MEbar), o incluso de estaciones de bombeo de aguas residuales ($ARTF^3$ -MEbar), especialmente para el caso de aglomeraciones urbanas que se extienden por cuencas hidrográficas diferentes. En todo caso, las aguas residuales se conducen a una estación depuradora de aguas residuales (EDAR), que puede considerarse como el complejo artefáctico ($ARTF^3$ -MEedar) característico del sistema técnico. Una EDAR está integrada por elementos constructivos propios de obra civil (PRO^2 -CONedar), y por tres elementos secuenciales: tratamiento primario (PRO^2 -ARTedar1); tratamiento secundario, habitualmente con biorreactores (PRO^3 -ARTedar2); y tratamiento terciario (PRO^3 -ARTedar3). El resultado de un determinado tratamiento de las aguas residuales lleva a obtener un agua cualitativamente mejorada, que puede identificarse como un recurso material de agua residual depurada (REC^3 -MATard). Este recurso puede prepararse para un determinado uso (agrícola, industrial...) mediante un tratamiento más específico en una estación de regeneración de aguas residuales (ERAR),

⁶⁰³ Identificadas como PRO^3 -MATsap en el sistema técnico de abastecimiento de agua.

como instalación específica (ART³-MEerar), de la que resulta como producto material un agua residual regenerada (PRO³-MATarre).

No obstante, la continuación más frecuente en este sistema técnico es que las aguas de salida de la EDAR, a través de una tubería de conducción de las aguas residuales depuradas (PRO²-CONtard), lleguen hasta un dispositivo de vertido (PRO²-CONvard), de modo que finalmente esas aguas residuales depuradas (PRO³-MATvard) tengan como destino final, como medio receptor, una masa de agua (ECOLⁿ-HIDma). Se observa que el proceso de depuración de aguas residuales genera una importante cantidad de lodos o fangos, que son espesados (concentrados) hasta poderse identificar como biosólidos (PRO³-MATbio) como producto resultante de la depuración.

En resumen, los componentes del sistema óptico (ii) artefáctico de saneamiento y depuración (red separativa) de aguas residuales (*SON(ii)-ART-STdru*), que también aparecen representados gráficamente (a excepción de los niveles de macrocomplejidad óptica de los sistemas artefácticos de servicios urbanos de saneamiento y depuración, ARTF⁴⁻⁵-SURsda), serían:

$$C_SON(ii)-ART-STdru = \langle \text{PRO}^2\text{-RESaru}, \text{PRO}^2\text{-CONtar}(2-n), \text{REC}^2\text{-MATaru}, \\ \text{ARTF}^3\text{-MEbar}, \text{ARTF}^3\text{-MEebar}, \text{PRO}^2\text{-CONtar1}, \text{ARTF}^{3-4}\text{-MEedar}, \\ \text{PRO}^2\text{-CONedar}, \text{PRO}^2\text{-ARTedar0}, \text{PRO}^2\text{-ARTedar1}, \text{PRO}^3\text{-ARTedar2}, \\ \text{PRO}^3\text{-ARTedar3}, \text{REC}^3\text{-MATard}, \text{ARTF}^3\text{-MEerar}, \text{REC}^3\text{-MATarre}, \\ \text{PRO}^2\text{-CONtard}, \text{PRO}^2\text{-CONvard}, \text{PRO}^3\text{-MATvard}, \text{ECOL}^n\text{-HIDma}, \\ \text{PRO}^3\text{-MATbios}, \text{ARTF}^4\text{-SURsda}, \text{ARTF}^5\text{-SURsda} \rangle$$

donde,

PRO²-RESaru : aguas residuales urbanas, en su origen como residuo producido a partir del nivel 2 por los usuarios del sistema (COUias);

PRO²-CONtar(2-n) : redes de conductos y tuberías de saneamiento, al menos a partir del nivel óptico 2, desde el orden de red secundario hasta el orden n, en función de la complejidad de la red;

REC²-MATaru : aguas residuales urbanas, saneadas, como recurso (input) del sistema técnico de saneamiento;

ARTF³-MEbar : instalaciones de bombeo eléctrico de aguas residuales;

ARTF³-MEebar : estación de bombeo de aguas residuales (EBAR) como instalación más compleja de bombeos de aguas residuales;

PRO²-CONtar1 : conducción primaria o principal de las aguas residuales urbanas;

ARTF³⁻⁴-MEedar : estación depuradora de aguas residuales (EDAR) como sistema artefáctico a partir del nivel 3 de complejidad óptica, y que incluye tanto los elementos de obra civil (PRO²-CONedar), como los elementos en que se operan las fases de depuración en la línea de aguas (PRO²⁻³-ARTedar0-3);

PRO²-CONedar : elementos componentes de la obra civil de una estación depuradora de aguas residuales;

PRO²-ARTedar0 : instalaciones de pretratamiento de las aguas residuales urbanas en una EDAR, para la eliminación de residuos sólidos (RS), partículas discretas sedimentables o arenas y grasas, flotantes y espumas;

PRO²-ARTedar1 : instalaciones de tratamiento primario de las aguas residuales urbanas en una EDAR, con decantadores y procesos físico-químicos, para la reducción de los sólidos en suspensión, y por tanto de la turbidez y de la demanda biológica de oxígeno;

PRO³-ARTedar2 : instalaciones de tratamiento secundario de las aguas residuales urbana en una EDAR, típicamente reactores biológicos, para la reducción de la materia orgánica (M.O.) disuelta;

PRO³-ARTedar3 : instalaciones de tratamiento terciario de las aguas residuales urbanas en una EDAR, para la reducción de contaminación bacteriológica (desinfección del efluente), eliminación de materia orgánica nitrificada, y del fósforo;

REC³-MATard : agua residual depurada, hasta un nivel determinado, que puede considerarse como recurso material disponible, tanto si pasa a reutilización, como si se procede a su vertido a medio receptor;

ARTF³-MEerar : estación de regeneración de aguas residuales urbanas para su reutilización en otros usos (agrícolas, industriales...), incluyendo instalaciones de complemento y afino de la depuración para alcanzar los niveles de calidad;

REC³-MATarre : agua residual regenerada, como recurso material, para su reutilización en otros usos (agrícolas, industriales...);

PRO²-CONtard : conducción de las aguas residuales depuradas, desde la EDAR hasta las instalaciones de vertido, en el medio receptor;

PRO²⁻³-CONvard : instalaciones para el vertido de las aguas residuales al medio receptor, directamente o a través de emisario, pudiendo incorporar dispositivos de control cuantitativo y cualitativo de las aguas residuales depuradas vertidas;

PRO³-MATvard : aguas residuales depuradas vertidas efectivamente al medio receptor, en tanto productor material como recurso hídrico que se reincorpora a la masa de agua (ECOLⁿ-HIDma);

ECOLⁿ-HIDma : masa de agua de nivel óntico 'n', del sistema hídrico del supersistema ecológico (es componente del toposubsistema óntico ecológico, SON-TOP-ECOL);

PRO³-MATbios : fangos o lodos del proceso de depuración de aguas residuales en la EDAR, estabilizados y deshidratados para su posterior gestión;

ARTF⁴-SURsda : para el macronivel óntico, sistema complejo artefáctico de servicios urbanos de saneamiento y depuración de aguas residuales (ej. metropolitanos, con poblaciones de cientos de miles o millones de habitantes), como sistema de nivel óntico 4, formado por ensamblaje de redes de saneamiento del nivel óntico 3, o por incluir elementos esenciales del nivel óntico 4;

ARTF⁵-SURsda : para el macronivel óntico, se trata de redes de sistemas complejos de servicios urbanos de saneamiento y depuración de aguas residuales (ej. de ámbito regional o estatal, con poblaciones de millones o decenas de millones de habitantes), formado por ensamblaje de sistemas de saneamiento y depuración de nivel óntico 3 y 4.

7.1.2.3 Sistema técnico de drenaje de aguas pluviales y esorrentías urbanas

El sistema técnico para el drenaje de las aguas pluviales y esorrentías urbanas (*STdeu*) sirve al propósito de la evacuación de las aguas pluviales (de precipitación) en una determinada cuenca urbana, de modo que esas aguas de lluvia –que pueden incorporar sustancias contaminantes al contacto con las partículas de las cubiertas de los edificios y de los pavimentos– sean gestionadas de modo que no causen daños a las personas, al medio ambiente y a las infraestructuras.

Aunque también es un sistema técnico relacionado con el agua urbana, en este caso –a diferencia de los dos anteriores– no hay agentes consumidores (caso del sistema de abastecimiento) ni productores (caso del sistema de saneamiento y depuración), sino que el objeto (en un sistema separativo) es la gestión del agua de precipitación sobre la cuenca urbana, dado que esta puede producir diferentes problemas, tanto sobre la red como sobre los

sistemas de tratamiento y depuración. Este sistema depende en gran medida de la estructura del territorio y de la ciudad. Por este motivo, es más complicado establecer un sistema tipo de drenaje de pluviales y de escorrentías urbanas.

La estructura del sistema responde a unas entradas de agua, en forma de precipitación, sobre la cuenca de la ciudad, de modo que se produce el lavado de las superficies (cubiertas y calzadas), se produce una escorrentía de acuerdo a las condiciones hidrológicas e hidráulicas del drenaje que puede estar modulada en cierta forma por dispositivos de detención (ej. tanques de tormenta)⁶⁰⁴ y retención (ej. lagunas de infiltración)⁶⁰⁵, tanto aguas arriba como dentro de la línea de drenaje o fuera de ella, hasta que los volúmenes de agua precipitados alcanzan el medio receptor.

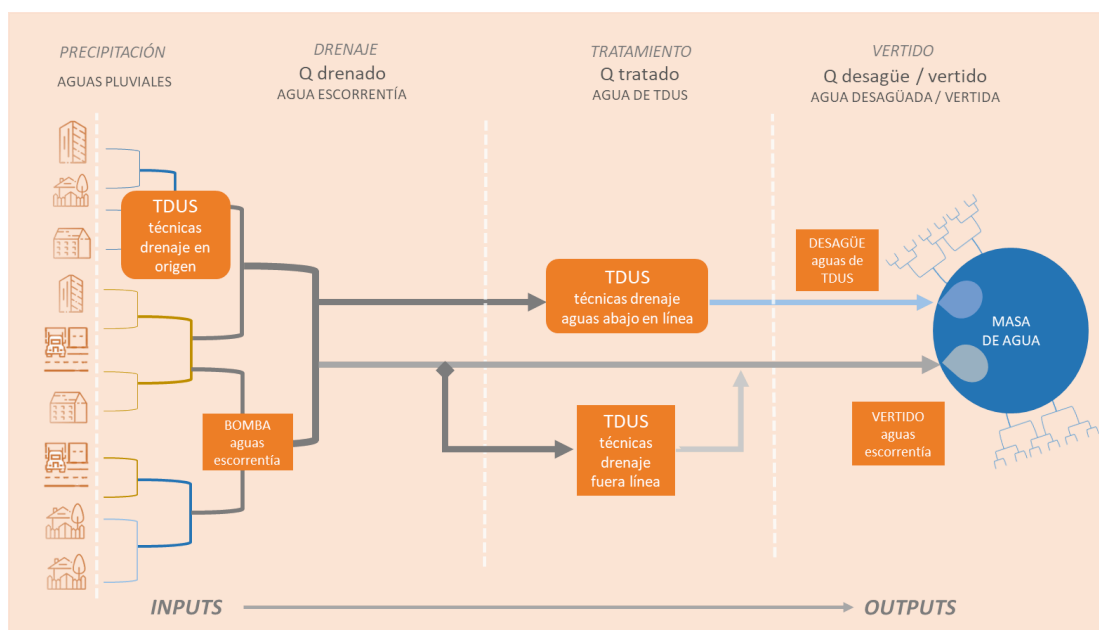


Fig. 7.1.2.f) Elementos y flujograma subsistema óptico (ii) artefáctico: drenaje de pluviales y escorrentía

A partir de esta descripción se procede a identificar los objetos y artefactos materiales más relevantes de una ontología del sistema técnico de drenaje de aguas pluviales y escorrentías urbanas. El punto de partida, como entrada o recursos, serían los volúmenes de agua precipitados (ECOLⁿ-HIDpre), que entran desde el sistema ecológico sobre la superficie o cuenca de la ciudad. Estos recursos que entran en el sistema ya pueden tener incorporado –en función del estado de la masa de aire, como se verá– un cierto nivel de contaminantes atmosféricos. En todo caso, las aguas precipitan sobre las cubiertas de los edificios (PRO²⁻³-CONedi), superficies urbanizadas impermeables (PRO³-CONurb) y zonas verdes o de infiltración. En las dos primeras, las aguas de precipitación se ponen en contacto con partículas y compuestos químicos que proceden del aire urbano, y que pueden presentar ciertas cargas contaminantes (PRO³-RESgas) derivadas de la actividad urbana, muy especialmente de las combustiones en instalaciones (calefacción...) en edificios y del tráfico

⁶⁰⁴ Los dispositivos de detención tienen como finalidad evitar la llegada de un determinado volumen de agua, en un tiempo dado, al medio receptor. Habitualmente son instalaciones situadas aguas abajo de las líneas de drenaje, en las proximidades del medio receptor. Las instalaciones suelen ser prácticamente impermeables, procediendo a su vaciado completo.

⁶⁰⁵ Los dispositivos de retención persiguen reducir la escorrentía superficial, facilitando que una parte de esta se infiltre al suelo, de modo que se module reduciendo las puntas de avenida de los drenajes superficiales.

rodado. Estas cargas de contaminación se incrementan, en la zona de circulación intensa de vehículos, con las cargas de contaminación sólida (PRO^3 -RESsol) producidas no sólo por sus emisiones sino también por el desgaste de materiales por rozamiento (como es el caso de los neumáticos). Esta agua de precipitación, que discurre sobre cubiertas o sobre superficies impermeables, y que ha incorporado en cierta medida sustancias como las que he comentado, se puede considerar como la entrada o recurso de partida, como agua de drenaje urbano (REC^{2-3} -MATadu) del sistema técnico.

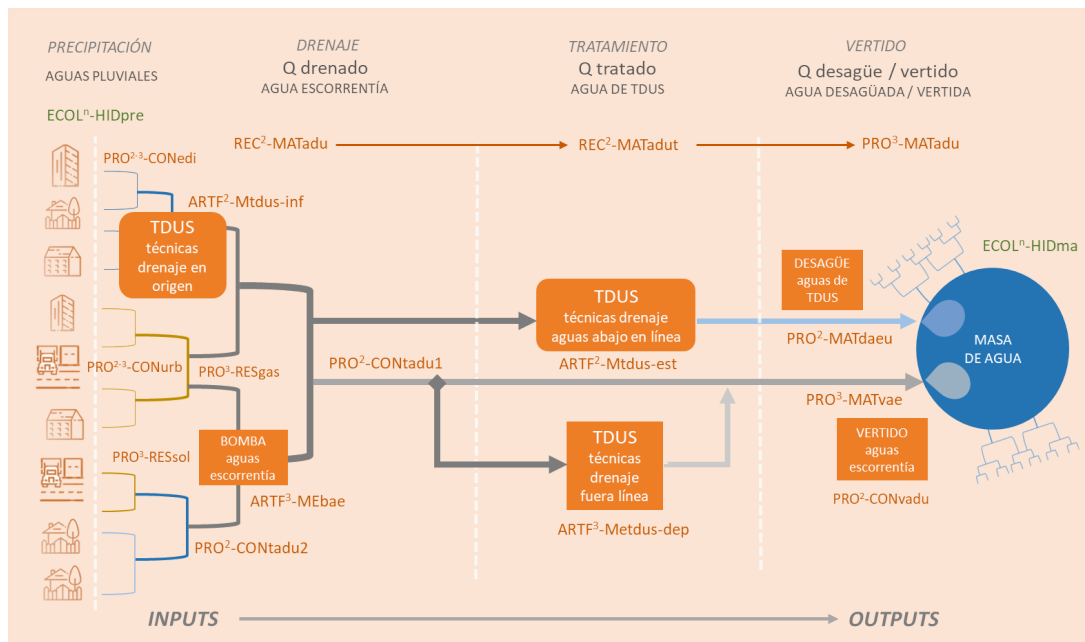


Fig. 7.1.2.g) Componentes de sistema óptico (ii) artefáctico: drenaje de escorrentía ($SON(ii)$ - $ARTdeu$)

A partir de este punto pueden existir una serie de diferentes tipos de instalaciones, que se denominan genéricamente ‘técnicas de drenaje urbano sostenible’ (TDUS), y que van desde dispositivos de infiltración en origen ($ARTF^2$ -Mtdus), hasta tanques de retención fuera de línea ($ARTF^3$ -MEtdus), pasando por estanques en las líneas de drenaje ($ARTF^2$ -Mtdus), por citar tres tipologías representativas.

El sistema de drenaje urbano puede contar también con dispositivos menos específicos, como son los bombeos de aguas de escorrentía ($ARTF^3$ -MEbae), así como las distintas conducciones, desde las más capilares (secundarias, terciarias) redes de aguas de drenaje urbano (PRO^2 -CONtadu2-3), hasta las principales conducciones del drenaje urbano (PRO^2 -CONtadu1). Finalmente, en las líneas de drenaje en donde se concentran flujos de agua, se vienen a producir vertidos (o desbordamientos) de aguas de escorrentía (PRO^3 -MATvae) a través de dispositivos de vertido de aguas de drenaje urbano (PRO^2 -CONvadu).

Las incorporaciones, mediante infiltración o desagües, a partir de TDUS de aguas de escorrentía urbana (PRO^2 -MATdaeu) llegarán finalmente, a un determinado medio hídrico receptor ($ECOL^n$ -HIDma).

En resumen, los componentes del sistema óptico (ii) artefáctico de drenaje (red separativa) de pluviales y escorrentía urbana ($SON(ii)$ - $ARTdeu$), que también aparecen representados gráficamente (a excepción de los niveles de macrocomplejidad óptica de los sistemas artefácticos de servicios urbanos de drenaje urbano, $ARTF^{4-5}$ -SURdeu), serían:

$C_SON(ii)-ART-STdeu = < ECOL^n-HIDpre, PRO^{2-3}-CONedi, PRO^{2-3}-CONurb,$
 $PRO^3-RESgas, PRO^3-RESSol, REC^2-MATadu, ARTF^2-Mtdus-inf,$
 $PRO^2-CONtadu2, ARTF^3-MEbae, PRO^2-CONtadu1, ARTF^2-Mtdus-est,$
 $ARTF^3-MEtdus-tan, REC2-MATadut, PRO^2-CONvadu, PRO^3-MATvae,$
 $PRO^2-MATdae, ECOL^n-HIDma, ARTF^4-SURdeu, ARTF^5-SURdeu >$

donde,

$ECOL^n-HIDpre$: precipitaciones (mm) de aguas pluviales, a través de las masas de aire en contacto con el territorio urbano (es componente del toposubsistema óptico ecológico, SON-TOP-ECOL);

$PRO^{2-3}-CONedi$: cubiertas y tejados de las edificaciones urbanas e industriales de la cuenca urbana;

$PRO^{2-3}-CONurb$: calzadas y zonas impermeables sobre las que se produce la precipitación y a partir de las cuales se dan los procesos de escorrentía (superficial) urbana;

$PRO^3-RESgas$: contaminantes, tanto partículas como compuestos químicos, presentes en la masa de aire urbano, que pueden entrar en contacto directo con la masa de agua antes de su precipitación, o que se presentan como depósito seco sobre las cubiertas y zonas impermeables;

$PRO^3-RESSol$: partículas y compuestos químicos contaminantes depositados sobre las superficies de la cuenca urbana, debidos tanto a la deposición de emisiones de procesos de combustión, como al rozamiento y desgaste de elementos del parque automovilístico en zonas de circulación rodada;

$REC^2-MATadu$: agua de drenaje urbano como recurso material, resultante de la precipitación sobre la cuenca urbana y movilización por escorrentía superficial;

$ARTF^2-Mtdus-inf$: técnicas de drenaje urbano aguas arriba, previa a la incorporación de las aguas a redes de drenaje, como pueden ser pavimentos drenantes;

$PRO^2-CONtadu2$: redes capilares de tuberías de conducción de aguas pluviales y de escorrentía urbana, incluyendo los dispositivos de captura (rejas, imbornales...);

$ARTF^3-MEbae$: bombeos de aguas de escorrentía urbana, en la línea de las redes de tuberías de drenaje, para resolver desniveles en el interior de la cuenca urbana, o entre diferentes cuencas urbanas;

$PRO^2-CONtadu1$: red primaria de tuberías de conducción de aguas pluviales y de escorrentía urbana, para la conducción subsuperficial de las aguas captadas;

$ARTF^2-Mtdus-est$: técnicas de drenaje urbano (de retención), a cielo abierto y en línea de drenaje, para modular el régimen de caudales y reducir la carga de contaminantes en las aguas de escorrentía urbana, como es el caso de estanques;

$ARTF^3-MEtdus-tan$: técnicas de drenaje urbano (de detención), cubiertas y fuera de la línea principal de drenaje, para modular el régimen de caudales y reducir la carga de contaminantes en las aguas de escorrentía urbana, como es el caso de tanques de tormenta;

$REC^2-MATadut$: aguas de drenaje urbana tratadas o mejoradas tanto desde el régimen hidrológico como desde la calidad de las mismas, mediante su gestión mediante algún tipo de técnica de drenaje urbano (TDU);

$PRO^2-CONvadu$: dispositivo para el vertido o desagüe de las aguas de drenaje urbano desde las redes de drenaje (generalmente sin TDU) al medio hídrico receptor, tanto superficial como subterráneo;

PRO³-MATvae : agua de escorrentía, como producto resultante del sistema de drenaje, como vertido de aguas de escorrentía a medio receptor, en sistemas sin (o con pocas) técnicas de drenaje urbano sostenible implantadas;

PRO²-MATdae : agua de escorrentía urbana, como producto resultante del sistema de drenaje urbano, en sistemas con técnicas de drenaje urbano sostenible implantadas;

ECOLⁿ-HIDma : masa de agua, como componente del supersistema ecológico, receptora de las aguas de escorrentía, bien a fin de línea de drenaje, o bien en paralelo (ej. ríos en ciudades) de modo que puede considerarse componente del sistema de drenaje urbano (es componente del toposubsistema óptico ecológico, SON-TOP-ECOL);

ARTF⁴-SURdeu : en niveles de complejidad alta, para agregaciones de sistemas de drenaje urbano, o para sistemas de drenaje urbano en áreas urbanas extensas o que interesan diferentes cuencas (hidrológicas) urbanas;

ARTF⁵-SURdeu : en niveles de complejidad alta, para sistemas de drenaje urbano de agregación del nivel ARTF⁴-SURdeu, o en niveles de complejidad aún superior por territorio y población, como redes de sistemas metropolitanos o megaurbanos.

7.1.2.4 Sistema de recogida, transporte y tratamiento de residuos sólidos urbanos

El sistema técnico de gestión de residuos sólidos urbanos (*STrsu*) cuenta habitualmente con las fases de recogida selectiva de las fracciones de residuos, el transporte diferenciado de esas fracciones de residuos, eventualmente con el apoyo de plantas de transferencia, y su tratamiento (reciclaje, valorización...) para aprovechar los elementos que pueden entenderse como recursos, y finalmente para la eliminación o disposición en vertederos del resto de residuos. Puede entenderse que este sistema técnico es un sistema de logística inversa (de recogida) de residuos (elementos en fin de ciclo) a partir del conjunto de los productos que han sido distribuidos para el uso y consumo por parte de la población⁶⁰⁶.

Los objetivos de este sistema técnico de RSU son: la retirada (típicamente de orden de frecuencia diaria) de los residuos sólidos urbanos del medio urbano, el aprovechamiento de los recursos todavía disponibles en los residuos sólidos urbanos, y el depósito final en condiciones de salud pública y de seguridad ambiental de aquellas fracciones de residuos que –por motivos técnicos o económicos– no han podido valorizarse.

Los componentes materiales artefactivos del sistema técnico de RSU pueden distribuirse en cuatro fases: 1) la de uso o consumo, por la población del medio urbano, con la generación de distintas fracciones⁶⁰⁷ de residuos sólidos urbanos; 2) la de recogida selectiva, incluyendo la contenerización u otras formas de recogida y el transporte de las fracciones; 3) el tratamiento o valorización de las fracciones recogidas, atendiendo al tipo de instalaciones y capacidades; y 4) resultados finales, tanto como productos generados, cuanto como fracciones finales residuales, que son objeto de una eliminación final.

Comenzando en este orden el análisis de componentes artefactivos del sistema técnico de RSU, resulta primero la producción genérica de residuos a partir de la actividad urbana (PRO²-RESrsu), como una actividad básica resultante del uso y consumo de productos perecederos ordinarios. Esto lleva a la necesidad de disponer en el medio urbano de dispositivos para la recogida de los residuos. En principio se considera que los residuos se

⁶⁰⁶ De ahí que en algunos modelos de gestión de fracciones de residuo (como el ‘punto verde’) se articulen (técnica y económicamente) a partir de asociaciones de fabricantes y productores (ej. ecoembes, ecovidrio...) responsables de la gestión de los residuos que, por ejemplo como envases y embalajes, están poniendo en el mercado.

⁶⁰⁷ Las fracciones componentes de RSU consideradas habitualmente serían: materia orgánica o biodegradable, envases ligeros (plásticos, metálicos...), papel y cartón, vidrio, y fracción resto.

separan en fracciones determinadas y que tienen dispositivos de recogida, como contenedores ($PRO^2-ARTrsu1\dots$), según los tipos de fracciones (que represento como líneas de diferente color) así como elementos móviles como camiones ($ARTF^3-Maut$) preparados para su recogida de la vía pública y carga. En función del volumen de residuos, y del tamaño urbano, así como de la relación con otros elementos del sistema (plantas de tratamiento), puede ser necesario disponer de instalaciones para concentración de flujos de residuos previos al transporte, como pueden ser las instalaciones de plantas de transferencia ($ARTF^3-MEtrsu$).

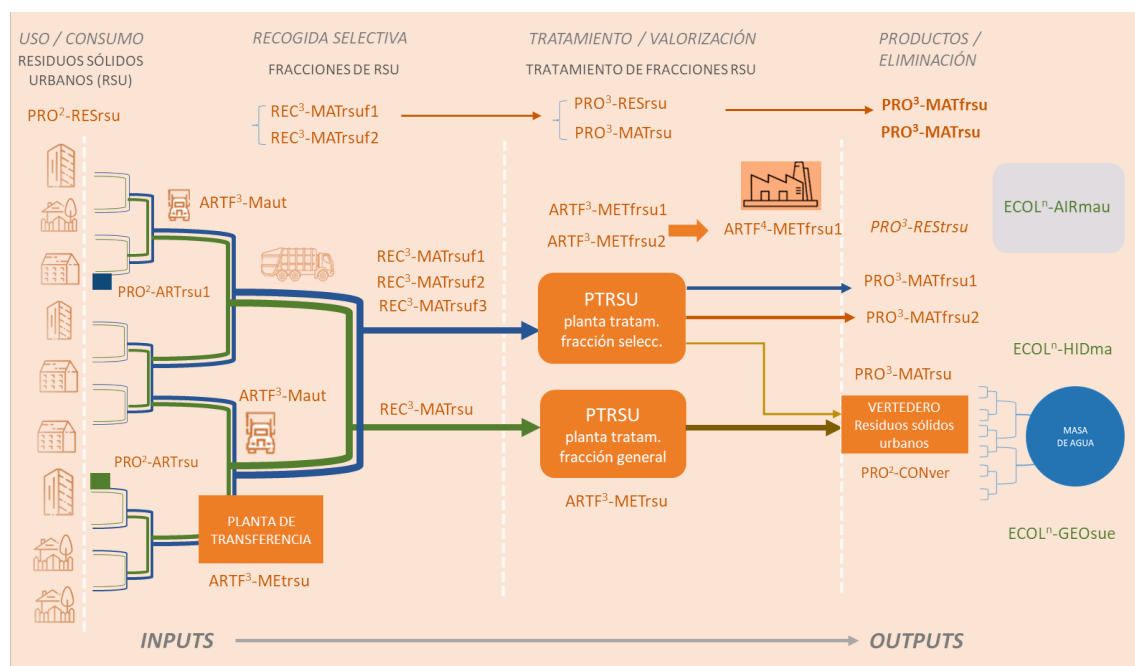


Fig. 7.1.2.h) Componentes de sistema óptico (ii) artefáctico: residuos sólidos urbanos (SON-ART-STrsu)

Estas fracciones de RSU recogidas pueden considerarse desde ese momento como recursos materiales disponibles ($REC^3-MATrsuf1\dots$) correspondientes a la fracción que corresponda. Estos recursos se introducen en las plantas de tratamiento de residuos sólidos urbano (PTRSU) para las fracciones segregadas o bien para los residuos en masa (aquellos que no han sido separados en fracciones). Los tipos de plantas ($ARTF^3-METfrsu1\dots$) están relacionados con los tipos de fracciones de RSU procedentes, así como las tecnologías seleccionadas, como serían plantas de compostaje o biometanización para fracciones biodegradables (biorresiduos), o plantas de recuperación y reciclaje (envases ligeros...). Un conjunto de plantas que tratan diversas fracciones de RSU constituyen un complejo de tratamiento de residuos sólidos urbanos ($ARTF^4-METfrsu$). Este complejo puede incluir también dispositivos para la eliminación de las fracciones de residuos no aprovechadas o bien de los vertidos de residuos en masa que finalmente vayan a eliminación mediante vertedero ($PRO^{2-3}-CONver$).

Al final de todos los elementos se incluyen los diferentes productos ($PRO^3-MATfrsu$) obtenidos a partir de los recursos de RSU, que pueden ser materias primas recicladas (pasta de papel, vidrio en bruto, aluminio...) o productos (compost, biogás, energía...). En la producción y gestión de tales elementos o en los finales de las plantas de tratamiento, se producen flujos de residuos (gas, líquidos o sólidos) de los tratamientos ($PRO^3-REStrsu$). Finalmente, se incluyen también elementos ecológicos del toposistema, o de los sistemas en

que se asientan las diferentes instalaciones de gestión de RSU, en tanto pueden tener interacciones (derivadas de $PRO^3-REStrsu$), fundamentalmente con masas de aire ($ECOL^n-AIRmau$), masas de agua de la red hidrológica ($ECOL^n-HIDma$) y con los suelos, en lugares o emplazamientos ($ECOL^n-GEOsue$).

En resumen, los componentes del subsistema óptico (ii) artefáctico de la ingeniería ambiental sanitaria, concretamente de su sistema técnico de recogida y tratamiento de residuos sólidos urbanos ($SON(ii)-ARTias-STrsu$), que también aparecen representados gráficamente, serían:

$$C_{SON(ii)-ARTias-STrsu} = < PRO^{2-3}RESrsu, PRO^{2-3}RESrsuf_n, PRO^2-ARTrsu_n, ARTF^3-Maut, ARTF^3-METrsu, REC^3-MATrsu, REC^3-MATrsuf_n, ARTF^3-METrsu, ARTF^3-METfrsu_n, ARTF^4-METrsu, PRO^{2-3}-CONver, PRO^3-MATfrsun, PRO^3-REStrsu, ECOL^n-AIRmau, ECOL^n-HIDma, ECOL^n-GEOsue >$$

donde,

$PRO^{2-3}RESrsu$: residuos sólidos urbanos producidos por una población, típicamente de un núcleo urbano, procedente del uso y consumo de productos perecederos o de corto ciclo de vida doméstica;

$PRO^{2-3}RESrsuf_n$: residuos sólidos urbanos producidos, correspondientes a una fracción 'n' de las que puedan ser objeto de recogida segregada;

$PRO^2-ARTrsu_n$: elementos de contenerización (contenedor) para el depósito intermedio de residuos sólidos urbanos de las distintas fracciones 'n'.

$ARTF^3-Maut$: camiones u otros sistemas autotransportados para la recogida de los residuos sólidos urbanos (o de las fracciones correspondientes) depositados en contenedores;

$ARTF^3-METrsu$: plantas de transferencia como instalaciones intermedias para el traslado y transferencia de residuos sólidos urbanos (o fracciones) desde el área de producción a las plantas de tratamiento;

$REC^3-MATrsu$: recursos materiales a partir de RSU, cuando los residuos urbanos seleccionados están dispuestos como entradas al proceso de planta de tratamiento;

$REC^3-MATrsuf_n$: recursos materiales a partir de RSU, desde que las distintas fracciones 'n' seleccionadas están disponibles como entradas a un proceso de aprovechamiento directo o tratamiento para su aprovechamiento;

$ARTF^3-METrsu$: planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos (indiferenciados o prácticamente no segregados en fracciones);

$ARTF^3-METfrsu_n$: planta de tratamiento de una determinada fracción de residuos sólidos urbanos, de acuerdo con su tipología (compostaje, biometanización, tratamiento térmico, recuperación...);

$ARTF^4-METrsu$: complejo de tratamiento de RSU, integrado por diversas plantas de tratamiento para distintas fracciones de RSU segregadas, e incluso plantas de gestión de los residuos finales o de los producidos (emisiones, efluentes o sólidos) en los procesos de tratamiento y valorización;

$PRO^{2-3}-CONver$: vertedero de residuos finales de los procesos de tratamiento de residuos sólidos urbanos, como dispositivo de eliminación final;

$PRO^3-MATfrsun$: productos materiales (pasta de papel, masa de vidrio, metales, compost...) como resultado de los procesos de tratamiento y valorización de los recursos procedente de las fracciones de residuos sólidos urbanos, o expresado de forma amplia y más genérica como $PRO^3-MATrsu$;

PRO³-REStrsu : residuos, como productos residuales (emisiones, efluentes y lixiviados, y residuos sólidos) a partir de los procesos de tratamiento, valorización e incluso de eliminación final (vertedero) de los restos de RSU;

ECOLⁿ-AIRmau : masa de aire (en zona urbana o de influencia) a que eventualmente pueden alcanzar las emisiones contaminantes, desde la contenerización, recogida, transporte, y de las plantas de valorización, tratamiento o eliminación de RSU (es componente del toposubsistema óptico ecológico, SON-TOP-ECOL);

ECOLⁿ-HIDma : masas de agua (en zona de influencia) a las que eventualmente pueden alcanzar (vertido o infiltración de efluentes líquidos o lixiviados) en los procesos de recogida, transferencia, tratamiento, valorización y eliminación de RSU (es componente del toposubsistema óptico ecológico, SON-TOP-ECOL);

ECOLⁿ-GEOsue : formaciones de suelo y subsuelo (en zona de influencia) a las que eventualmente pueden alcanzar contaminantes de los procesos de recogida, transferencia, tratamiento, valorización y eliminación de RSU (es componente del toposubsistema óptico ecológico, SON-TOP-ECOL).

7.1.2.5 Sistema técnico de control y reducción contaminación del aire urbano

Este sistema técnico de control y reducción de la contaminación del aire urbano (*STcau*) tiene por objeto el control adecuado y la provisión de medidas de control, corrección y mitigación de la contaminación del aire urbano, bien por partículas y compuestos químicos, o bien por radiaciones y ondas, especialmente las ondas sonoras que generan contaminación acústica. Este es un servicio público genérico de protección ambiental, que tiene como referencia cuanto menos las normas legales. Los contaminantes urbanos de esta naturaleza, como rechazos de operaciones del sistema artefactivo (combustión de motores de automóviles y calefacciones, eventualmente) producen emisiones gaseosas (PRO³⁻⁴-RESgas), que tienen características que obligan a evaluarlos con métodos (química analítica) muy sensibles y precisas, para lo que hacen falta instrumentos de control tecnológicamente muy avanzados, lo que sitúa este sistema técnico de control ambiental en niveles altos de complejidad óptica.

He procurado simplificar lo más posible la estructura y representación de los elementos materiales de este sistema técnico, para lo que considero como inputs las entradas de contaminantes⁶⁰⁸ que se producen a la masa de aire urbano (ECOLⁿ-AIRmau), a través de emisiones contaminantes desde fuentes fijas y móviles, lo que supone una degradación de partida de la calidad del aire (Q_{\downarrow}).

A continuación, incorpora la columna de aire del medio transmisor, que sería una forma de representar el espacio de transición entre la generación de contaminación en la fuente y el recorrido entre la fuente y el medio receptor. En esta columna intermedia considero un estado de calidad del aire urbana intermedia (Q_{\leftrightarrow}). Finalmente se ha representado la columna del medio receptor, como espacio de llegada final de los contaminantes (mediado los dos anteriores), en el que se considera un nivel de calidad del aire urbano compatible con la calidad del medio receptor (para las personas, los ecosistemas y los bienes).

⁶⁰⁸ Entre los contaminantes del aire urbano pueden considerarse dos grandes grupos. Por una parte los contaminantes químicos, tanto los sólidos particulados como los gaseosos; y por otra parte los contaminantes físicos como las radiaciones y ondas, particularmente las sonoras (contaminación acústica). Sin embargo, para simplificar este modelo general de contaminación del aire urbano, voy a centrarme casi exclusivamente en los contaminantes químicos (polvo, humos y gases), cuyos orígenes en el medio urbano se deben a emisiones de combustión en edificios (calderas...) e industrias, y particularmente al tráfico rodado de vehículos con motor de combustión interna, que son responsables de prácticamente la mitad de la contaminación del aire urbano.

En la primera columna, de uso/consumo se plantea por una parte la contaminación desde focos de emisión fijos, como las calderas (para calefacción y agua caliente sanitaria) que agrupo como ARTF³⁻⁴-TERA, y que incorporan (de acuerdo con las normas de calidad del aire) dispositivos (técnicas de control en la fuente) de filtrado (ARTF³⁻⁴-TEReco1), de los que salen unas emisiones contaminantes netas (PRO³⁻⁴-RESgas1).

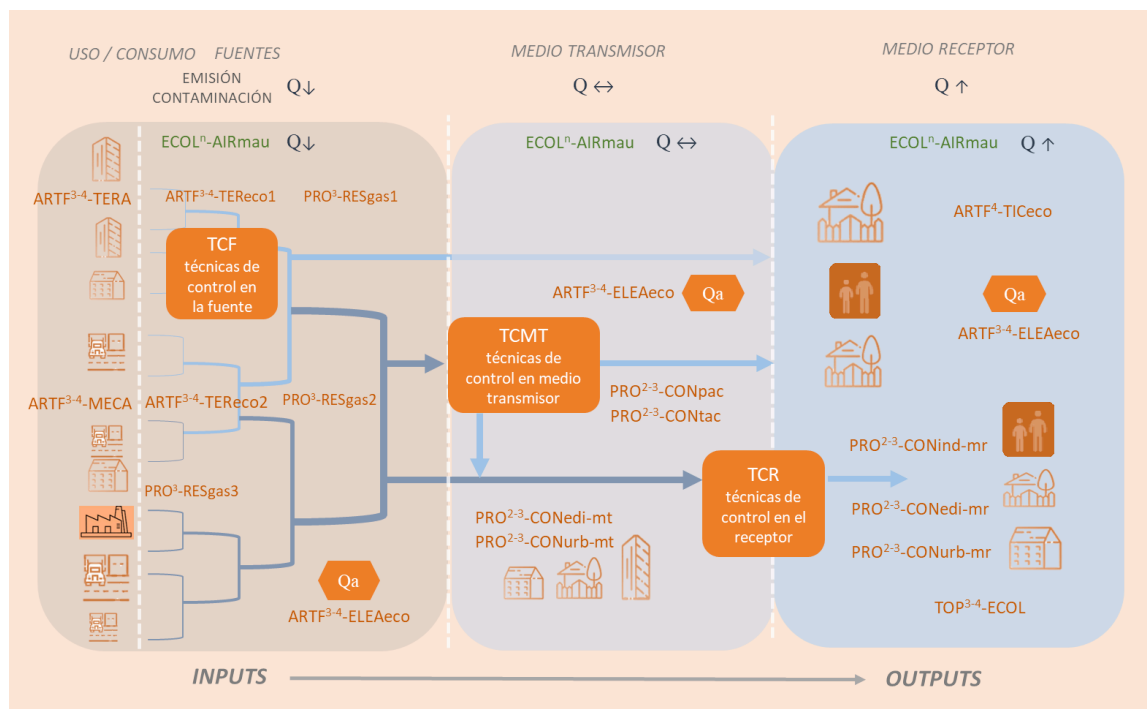


Fig. 7.1.2.i) Componentes sistema óptico (ii) artefáctico: control contaminación del aire (SON(ii)-STcau)

De modo semejante, de las fuentes móviles, que son las emisiones (partículas, NO_x, SO_x...) de los motores de combustión interna de vehículos automóviles (ARTF³⁻⁴-MECA) se producen gases de combustión que son filtrados y depurados por dispositivos incorporados (técnicas de control en la fuente) al motor (ARTF³⁻⁴-TEReco2), que dan como resultado unas emisiones netas de contaminantes (PRO³-RESgas2).

También se incluyen como componentes las emisiones netas de origen industrial que pueden encontrarse en el medio urbano, que identifico genéricamente como PRO³-RESgas3. El conjunto de esta primera columna se completa con los equipos de control (fijo y móvil) de la contaminación atmosférica, compuestos por sensores (ARTF³⁻⁴-ELEAeco) de las variables de estado características de la calidad del aire.

La segunda columna, del medio transmisor, se equipara con un estado de calidad intermedia ($Q \leftrightarrow$) de la masa de aire urbano. En este apartado se incluyen típicamente las técnicas de control y reducción en medio transmisor. En este caso las técnicas se pueden ejemplificar de una forma más clara si se refieren al tipo de contaminación acústica. Pueden considerarse como técnicas de incidencia directa, como las pantallas acústicas (PRO²⁻³-CONpac) o tratamientos anticontaminación del aire de forma más general (PRO²⁻³-CONtac). Serían técnicas indirectas en el medio transmisor aquellas que tienen que ver más con aspectos de disposición, ubicación y ordenación en edificios (PRO²⁻³-CONedi-mt), como orientaciones o distancias; o en tramas urbanas como son las medidas de organización de las actividades y de los elementos (ordenación de servicios, protección de zonas residenciales,

ubicación de industria, tráfico...) que tienen como correlato una determinada organización del espacio urbano (PRO^{2-3} -CONurb-mt). En esta columna del medio transmisor se considera también la incorporación de sensores ($ARTF^{3-4}$ -ELEAeco) de las variables de estado características de la calidad del aire.

Finalmente se tiene la columna correspondiente al medio receptor, en donde se considera que la masa de aire urbana ($ECOL^n$ -AIRmau) debe tener una calidad adecuada ($Q\uparrow$) para la salud de la población, la conservación de los ecosistemas y de los bienes. Entre los componentes de esta columna estarían los correspondientes a técnicas de control en el medio receptor. Se trata de elementos de protección adicional utilizados por los individuos (PRO^{2-3} -CONind-mr) como pueden ser filtros para la piel, tejidos especiales anticontaminación o mascarillas de respiración. También, de forma más general, se trata de elementos incorporados en edificios (PRO^{2-3} -CONedi-mr) como sistemas de filtración del aire, ventilación o dispositivos de insonorización; y de elementos análogos de mayor magnitud correspondientes a la trama urbana (PRO^{2-3} -CONurb-mr).

En resumen, los componentes del subsistema óptico (ii) artefáctico de la ingeniería ambiental sanitaria, concretamente de su sistema técnico de control y reducción de la contaminación del aire y acústica urbana ($SON(ii)$ -ARTias-STcau), que también aparecen representados gráficamente, serían:

$$C_SON(ii)\text{-}ARTias\text{-}STcau = < ECOL^nAIRmau, ARTF^{3-4}\text{-}TERA, ARTF^{3-4}\text{-}TEReco1, \\ PRO^3\text{-}RESgas1, ARTF^{3-4}\text{-}MECA, ARTF^{3-4}\text{-}TEReco2, PRO^3\text{-}RESgas2, \\ PRO^3\text{-}RESgas, ARTF^{3-4}\text{-}ELEAeco, PRO^{2-3}\text{-}CONpac, PRO^{2-3}\text{-}CONtac, \\ PRO^{2-3}\text{-}CONedi\text{-}mt, PRO^{2-3}\text{-}CONurb\text{-}mt, PRO^{2-3}\text{-}CONind\text{-}mr; \\ PRO^{2-3}\text{-}CONedi\text{-}mr, PRO^{2-3}\text{-}CONurb\text{-}mr, ARTF^4\text{-}TICeco, TOP^{3-4}\text{-}ECOL >$$

donde,

$ECOL^nAIRmau$: masa de aire, de magnitud equivalente 'n' al medio urbano, del sistema ecológico (es componente del toposubsistema óptico ecológico, SON - TOP - $ECOL$);

$ARTF^{3-4}\text{-}TERA$: equipos fijos de combustión (fuentes fijas de emisión) como calderas domésticas para el suministro de agua caliente sanitaria y de calefacción;

$ARTF^{3-4}\text{-}TEReco1$: dispositivos de filtración o captura de gases de emisión de combustión en fuentes fijas de emisión;

$PRO^3\text{-}RESgas1$: gases contaminantes (partículas, NO_x , SO_x , $CO...$) netos emitidos por combustión desde fuentes fijas, una vez tratadas las emisiones brutas;

$ARTF^{3-4}\text{-}MECA$: automóviles con motores de combustión (fuentes móviles de emisión) con emisiones contaminantes (partículas, NO_x , SO_x , $CO...$) en funcionamiento y distribución (espacial y temporal) de acuerdo a pautas de tráfico urbano;

$ARTF^{3-4}\text{-}TEReco2$: dispositivos de filtración o captura de gases de emisión de combustión en fuentes móviles de emisión;

$PRO^3\text{-}RESgas2$: gases contaminantes (partículas, NO_x , SO_x , $CO...$) netos emitidos por combustión desde fuentes móviles, una vez tratadas (antes de tubo de escape);

$PRO^3\text{-}RESgas$: gases contaminantes procedentes de fuentes fijas industriales;

$ARTF^{3-4}\text{-}ELEAeco$: dispositivos, manuales o automáticos, de control de parámetros de calidad físico-química aérea (partículas, NO_x , SO_x , $CO...$) y acústica (decibelios, dB);

$PRO^{2-3}\text{-}CONpac$: elementos de técnicas de reducción de contaminación en medio transmisor, como pueden ser las pantallas acústicas de materiales absorbentes;

$PRO^{2-3}\text{-}CONtac$: elementos del grupo de técnicas de reducción de contaminación en medio transmisor (diferentes de $PRO^{2-3}\text{-}CONpac$), como formaciones vegetales;

PRO²⁻³-CONedi-mt : dispositivos y configuraciones de elementos en edificios, y de los edificios de técnicas de reducción de contaminación en medio transmisor;
 PRO²⁻³-CONurb-mt : configuración y formación de malla urbana para reducción de contaminación en medio transmisor (peatonalización y humanización de calles...);
 PRO²⁻³-CONind-mr : equipos para la reducción de contaminación del aire en medio receptor, en el individuo o entorno inmediato;
 PRO²⁻³-CONedi-mr : equipos incorporados a edificios para reducción de contaminación de aire en medio receptor;
 PRO²⁻³-CONurb-mr : elementos de la trama urbana para reducción de contaminación del aire en medio receptor;
 ARTF⁴-TICeco : redes (manuales o automáticas) de control de calidad del aire urbano;
 TOP³⁻⁴-ECOL : componentes ecológicos del toposistema ‘medio urbano’.

7.1.3 Subsistema óptico (iii): complejo institucional de ingeniería ambiental sanitaria

De acuerdo con el modelo general de la ingeniería, comienzo el subsistema óptico (iii) del complejo institucional de la ingeniería ambiental sanitaria (*SON(iii)-CINias*) con un nivel cero, en donde aparecen las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria (CIN⁰-COPIas), como pueden ser los colegios profesionales de ingeniería civil (que enmarca la actividad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria), o las asociaciones de ingeniería sanitaria. Este nivel óptico cero conecta el subsistema óptico (i) de la agencia humana individual, o no institucional, con el de complejos institucionales.

En este nivel básico incluyo también a las comunidades de usuarios de la ingeniería ambiental sanitaria (COUIas), como usuarios de los sistemas técnicos o consumidores de los productos (bienes y servicios) generados por los cinco sistemas técnicos mencionados. De entre ellos, es en el sistema técnico de abastecimiento de agua potable en donde el colectivo de usuarios tiene un papel más determinante, en tanto –de forma individual, y al tiempo agregada– modulan las necesidades cuantitativas y cualitativas de suministro de agua potable. Los usuarios del sistema técnico también tienen un papel relevante en la generación individualizada de las aguas residuales urbanas, así como en la generación –también individualizada– de los residuos sólidos urbanos.

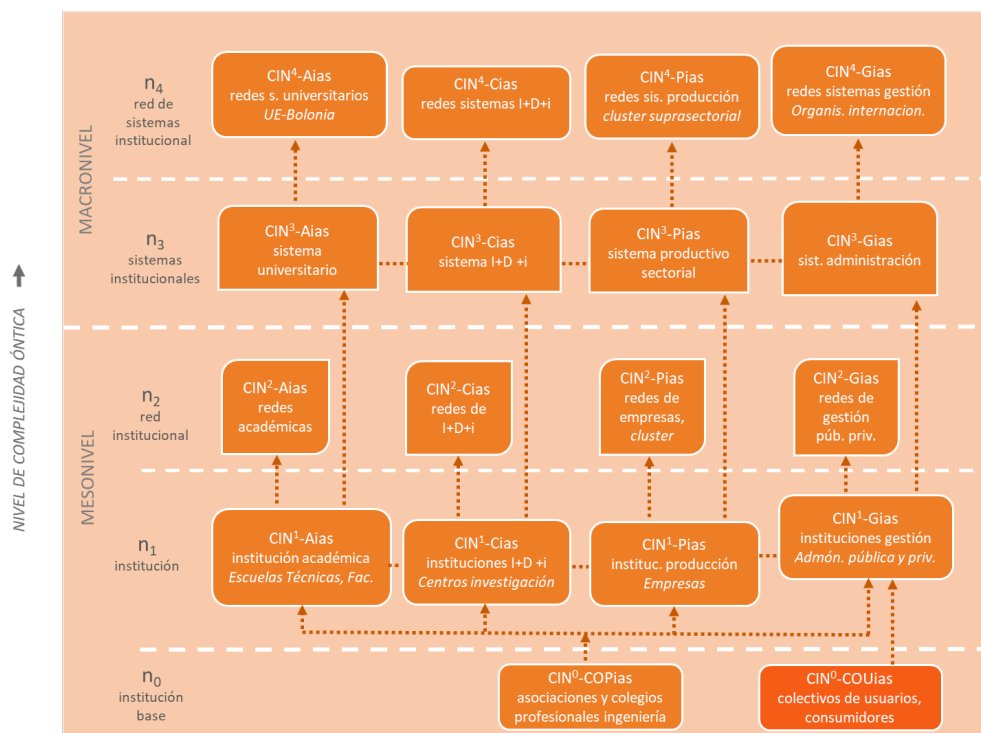
Ya se ha indicado antes como a partir de una determinada complejidad de los sistemas tecnológicos, su gestión requiere de la presencia de un sujeto colectivo, ya que “las actividades de los individuos se organizan en estas empresas complejas porque se realizan en el marco de instituciones industriales, económicas, de investigación, jurídicas, de mercado, y muchas otras que crean el medio en el que puede desarrollarse la tecnología.”⁶⁰⁹

La representación del subsistema óptico (iii) del complejo institucional tiene una estructura de niveles complejidad óptica: el nivel 1 o de sistemas, para las instituciones, pasando por el de redes de sistemas (nivel 2), hasta el nivel (3) de sistemas complejos, y terminando en el más alto, el de redes de sistemas complejos (nivel 4), para las redes de sistemas institucionales. Esta serie de complejidad creciente se corresponde con cuatro columnas principales que responden originalmente a las cuatro subcomunidades profesionales ingenieriles y al sistema ingenieril a que se refieren: académica o docente, en relación con el sistema funcional praxiológico docente; de investigación o cambio tecnológico, en relación con el sistema funcional praxiológico de cambio; de producción, en relación con el sistema

⁶⁰⁹ Broncano, F. (2000: 141): *Op. cit.*

funcional praxiológico productivo; y de gestión y control, en relación con el sistema complejo ingenieril.

Para el caso de la ingeniería ambiental sanitaria, esta estructura se completa en tanto que se han identificado los cinco sistemas técnicos más relevantes que comprenden las actividades productivas características de esta actividad ingenieril: 1) abastecimiento de agua potable (*STabu*); (2) saneamiento y depuración de aguas residuales urbanas (*STdru*); (3) drenaje de pluviales y escorrentía urbana (*STdeu*); (4) recogida selectiva y tratamiento de residuos sólidos urbanos (*STrsu*); y (5) control y reducción de la contaminación del aire y acústica en medios urbanos (*STcau*).

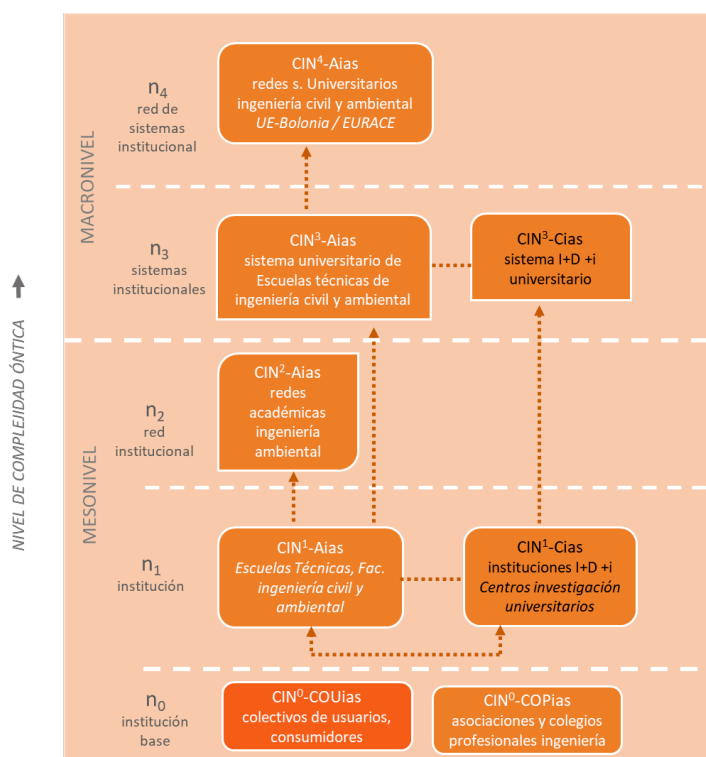


7.1.3.a) Subsistema óptico (iii) del complejo institucional de la ingeniería ambiental sanitaria

Para estudiar con mayor detalle el complejo institucional, voy a analizarlo para cada uno de los cuatro sistemas funcionales praxiológicos, desde el nivel óptico más sencillo (equivalente a un nivel de mesocomplejidad óptica) hasta el nivel de complejidad óptica más elevado, y teniendo también en qué medida se vinculan los cinco diferentes sistemas técnicos con los componentes del complejo institucional. A estos efectos, los cinco sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria pueden clasificarse. El grupo más importante es el de los sistemas técnicos del agua, en sentido amplio, que puede llegar a incluir el de agua potable, el de saneamiento y depuración de aguas residuales, y el de drenaje de pluviales y escorrentía urbana. Todos ellos tienen que ver con el agua y con lo urbano, de modo que podría hablarse de un área de institucionalidad del agua urbana. La siguiente área de institucionalidad sería la del sistema técnico de gestión de residuos sólidos urbanos, con objetos y métodos de cambio bien diferentes de los del agua. Finalmente estaría el sistema técnico de control y reducción de la contaminación del aire y acústica urbana, que se distingue a su vez de los dos anteriores.

7.1.3.1 Complejo institucional del sistema praxiológico docente ingeniería ambiental

Las instituciones (integradas al menos por agentes humanos, componentes artefacticos y normas) son el primer nivel óptico del complejo institucional⁶¹⁰. Aquí encontramos en primer lugar las instituciones académicas de la ingeniería ambiental sanitaria (CIN¹-Aias), como son, dentro de las universidades, las escuelas técnicas de ingeniería civil⁶¹¹ o escuelas técnicas de ingeniería ambiental, que titulan profesionalmente en las materias de la disciplina de la ingeniería ambiental sanitaria, y por tanto en las competencias profesionales de los cinco sistemas técnicos mencionados. Las escuelas se componen típicamente de departamentos y áreas, entre las que se encuentran los dedicados específicamente a tecnología e ingenierías del agua y el medio ambiente, bajo determinadas denominaciones.



7.1.3.b) Subsistema óptico (iii) del complejo institucional de la ingeniería ambiental sanitaria: sistema funcional praxiológico académico-docente

Estas escuelas técnicas de ingeniería civil y ambiental (en un sentido amplio), y en cierta medida también los departamentos y áreas, forman parte de redes académicas nacionales e internacionales de la ingeniería ambiental. En este segundo nivel de complejidad óptica se encuentran entonces redes académicas de ingeniería ambiental sanitaria (CIN²-Aias), que están típicamente representadas a través de redes de profesionales y publicaciones científico-

⁶¹⁰ Para definir y representar el subsistema óptico del complejo institucional de la ingeniería ambiental sanitaria voy a procurar darle una cierta generalidad (dentro del ámbito ingenieril euroamericano), aunque para especificar o poner ejemplos, procuraré –en la medida de los posibles– que estos ejemplos formen parte del espacio estatal español y europeo.

⁶¹¹ En el sistema universitario español, son las escuelas técnicas de ingeniería de caminos en las que se imparte la formación de grados y máster, que habilita profesionalmente para los cinco sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria (abastecimiento de aguas, saneamiento y depuración de aguas residuales, drenaje de pluviales y escorrentías urbanas, recogida selectiva y tratamiento de residuos sólidos urbanos, y control y reducción de contaminación del aire urbano).

tecnológicas. Estas últimas, las publicaciones científico-tecnológicas, a través de distintos grupos editoriales prestigiosos, contribuyen a articular esas redes informales académicas en tanto los académicos utilizan –y consideran como referencia– los manuales y libros de texto que se consideran más importantes. Estos textos de referencia⁶¹² vienen a construir una suerte de ‘doctrina académica’ compartida por diferentes grupos de docentes, que permiten identificar redes o espacios relacionales.

Con un grado más formalizado que las redes de instituciones, se encuentra el tercer nivel óntico del complejo institucional académico, el formado por el conjunto de las escuelas técnicas que forman parte de un sistema universitario compartido. Esto ocurre a escala estatal, de modo que el regulador propicia la existencia autorizada de centros que pueden impartir las enseñanzas que conducen al título profesional que habilita para las competencias en los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria. Este sistema de instituciones (CIN³-Aias) es, en nuestro caso (sistema educativo español), el conjunto de universidades⁶¹³ que tienen como instituciones a escuelas técnicas de ingeniería de caminos, canales y puertos.

En el ámbito académico, el nivel más alto de complejidad óntica se encuentra en las redes de sistemas institucionales (CIN⁴-Aias), por tanto, en las redes de sistemas universitarios con instituciones (escuela técnica de ingeniería de caminos, por ejemplo) que titulan en competencias de la ingeniería ambiental sanitaria. En el ámbito de la Unión Europea, este es el caso de convergencia institucional del Plan Bolonia y del Espacio Europeo de Educación Superior, con las repercusiones derivadas en cuanto a movilidad de estudiantes y docentes, y fundamentalmente en cuanto a los reconocimientos de formación académica entre diferentes sistemas universitarios europeos.

7.1.3.2 Complejo institucional del sistema praxiológico de I+D+i en ingeniería ambiental sanitaria

A continuación, puede analizarse el conjunto de la serie de complejos institucionales de la función praxiológica de cambio (I+D+i), que se encontraría a caballo entre el ámbito de investigación universitaria, el de la investigación e innovación pública (no universitaria), y el de la innovación privada desde el complejo productivo. Si en el caso anterior se ha visto que los cinco sistemas técnicos titulan juntos académicamente, en el caso de la función praxiológica de cambio, hay que considerar diferentes agrupaciones de los sistemas técnicos. El grupo más importante es el de los sistemas técnicos del agua, en sentido amplio, que puede llegar a incluir el de agua potable, el de saneamiento y depuración de aguas residuales, y el de drenaje de pluviales y escorrentía urbana. Todos ellos tienen que ver con el agua y con lo urbano, de modo que podría hablarse de un área de I+D+i del agua urbana. El siguiente sería el sistema técnico de gestión de residuos sólidos urbanos, con objetos y métodos de cambio (I+D+i) bien diferentes de los del agua. Y finalmente estaría el sistema técnico de control y reducción de la contaminación del aire y acústica urbana, que se distingue a su vez de los dos anteriores.

⁶¹² En relación con los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental, podrían considerarse algunas de las redes académicas que resultan del hecho de compartir materiales académico-docentes. Esto ocurre, por ejemplo, para el sistema técnico de saneamiento y depuración de aguas residuales (STdru) con las obras de Metcalf & Eddy de la editorial McGraw-Hill, o para el sistema técnico de residuos sólidos urbanos (STrsu) con las obras de Tchobanoglous, también de la editorial McGraw-Hill.

⁶¹³ Este nivel del complejo institucional universitario estaría formado al menos por las universidad con escuelas técnicas de ingeniería de caminos: U. Politécnica de Madrid, U. Cantabria, U. Politécnica de Valencia, U. Politécnica de Cataluña, U. Granada, U. A Coruña, U. Castilla-La Mancha, U. Burgos, U. Alicante, U. Europea de Madrid, U. Alfonso X El Sabio.

Además de esto, hay que tener en cuenta que entre los subsistemas (invención e innovación) del sistema praxiológico de cambio hay diferencias significativas, puesto que el de innovación está mucho más relacionado con el sector ingenieril productivo.

En el primer nivel del complejo institucional, el de las instituciones, pueden considerarse, de forma general, tres formas institucionales: la universitaria (grupos de investigación y centros de investigación de las escuelas técnicas de ingeniería civil y ambiental, y de las universidades en que se enmarcan) como CIN¹-CUNias; la investigación pública no universitaria (centros públicos de I+D+i en agua y medio ambiente), como CIN¹-CPUias, entre los que pueden señalarse el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)⁶¹⁴ o el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)⁶¹⁵; y los centros de investigación privados, como CIN¹-CPRIas. Entre estos se incluyen centros cuya orientación sea la I+D+i tanto sobre el agua, como sobre los residuos sólidos urbanos y la contaminación atmosférica, que pueden venir definidos como tal o bajo un genérico ‘medio ambiente’.

El segundo nivel óptico del complejo institucional son las redes institucionales de I+D+i (CIN²-Cias), como redes (competenciales, sectoriales o territoriales) que, con un cierto grado de informalidad, articulan procesos conjuntos o complementarios de investigación e innovación. Los componentes de estas redes son instituciones, y aunque las redes pueden pertenecer a uno de los determinados tipos de instituciones (universitarias, públicas no universitarias, o privadas), es habitual que sean redes mixtas, en donde lo que prima es la orientación temática de la investigación. Estas redes pueden estar menos o más formalizadas, como la Red Académica y de Investigación Española (RedIRIS) que comparte comunicación e infraestructuras científicas y técnicas singulares, incluyendo investigaciones en materias como hidráulica y ecología del territorio. En este nivel también pueden considerarse entidades o centros mixtos que, aunque no sean redes abiertas, son espacios para la investigación cooperativa, como puede ser el caso del Centro de Tecnologías del Agua (CETAQUA)⁶¹⁶.

El siguiente nivel óptico del complejo institucional lo serían los sistemas institucionales o sistemas de instituciones (CIN³-Cias) de invención e innovación en la ingeniería ambiental sanitaria, o al menos en la ingeniería del agua y del medio ambiente. Estos sistemas institucionales pueden definirse a escala regional o nacional.

Finalmente se llega al nivel más alto del complejo institucional, que sería la red de sistemas institucionales (CIN⁴-Cias). Un ejemplo de este nivel, en donde el programa genera la red⁶¹⁷, sería el Horizonte2020, Programa Marco de Investigación e Innovación de la Unión Europea, en donde en el apartado de retos sociales, dentro del apartado de Acción por el Clima, Medio Ambiente, Eficiencia de los recursos y materias primas, se incluyen la innovación en el agua y los residuos.

⁶¹⁴ Véase www.cedex.es

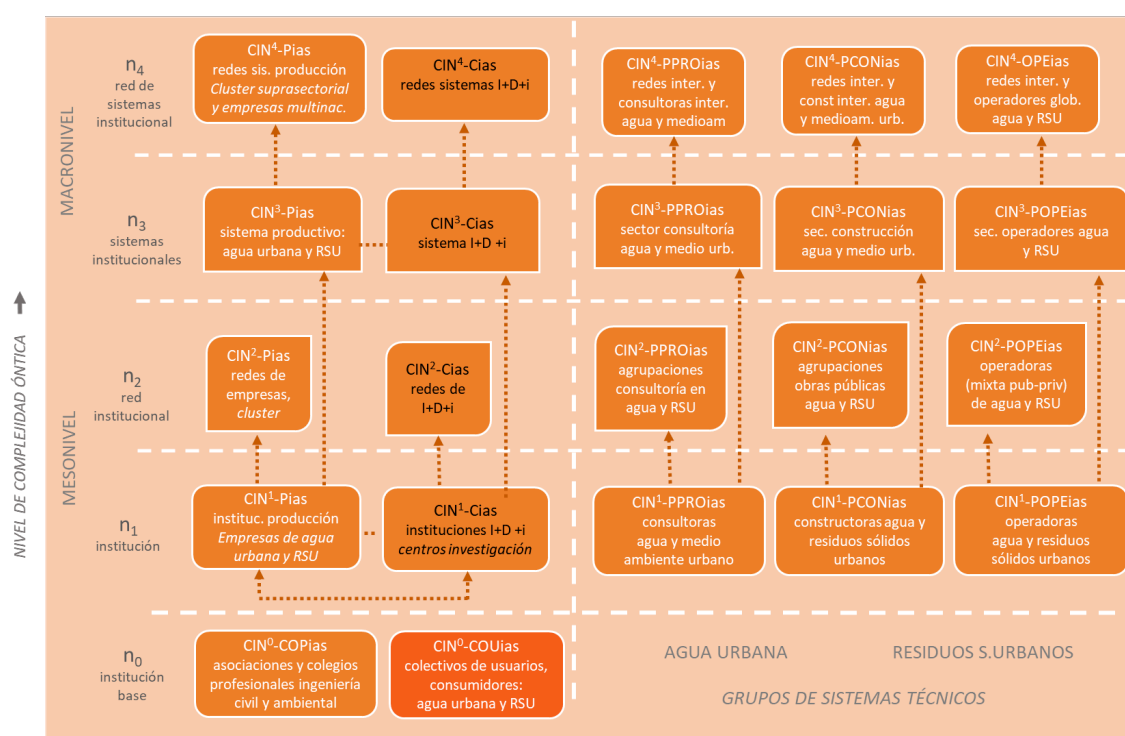
⁶¹⁵ Véase www.ciemat.es

⁶¹⁶ Un centro formado inicialmente por la compañía Aguas de Barcelona, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Véase www.cetaqua.com

⁶¹⁷ Como ya se ha observado, la red –y por tanto su nivel óptico– puede estar formada por la reunión de diversos agentes que tienen un objetivo común o, también puede ser la resultante de un programa de investigación de alto nivel que, para conseguir sus resultados, necesita activar (como red) a diferentes agentes. Es frecuente entonces, que la configuración de redes de I+D+i sean acciones institucionales orientadas a incrementar la capacidad creativa del sistema. En este caso, los agentes activadores de la red bien podrían ser del complejo institucional del sistema funcional praxiológico de gestión y control de la ingeniería ambiental sanitaria, como se verá.

7.1.3.3 Complejo institucional del sistema praxiológico productivo en ingeniería ambiental sanitaria

Ya se ha señalado que el sistema praxiológico productivo en la ingeniería supone, al menos, tres fases operacionalmente bien diferenciadas: la de proyecto o diseño, la de construcción, y la de explotación. En los tres casos, pueden combinarse con los cinco sistemas técnicos relevantes de la ingeniería ambiental sanitaria, aunque simplificando puede hablarse en términos productivos fundamentalmente del agua urbana (AU) y de la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU). La actividad productiva de la ingeniería ambiental sanitaria parte de las técnicas de diseño proyectual que, a su vez, están relacionadas con la generación de novedades radicales y con la innovación (formal, material o procesual), y por tanto hay una creciente integración de acciones de cambio (I+D+i) con acciones productivas, lo que pongo de manifiesto en la representación al adjuntar la familia del complejo institucional de I+D+i al complejo institucional productivo.



7.1.3.c) Subsistema óptico (iii) del complejo institucional de la ingeniería ambiental sanitaria: sistema funcional praxiológico productivo (subsistemas proyectos, construcción y operación)

El primer nivel óptico de este complejo institucional estará formado, como unidades mínimas institucionales de producción, por empresas (públicas o privadas): de consultoría o proyecto (CIN¹-PPROias), encargadas del diseño y asistencia técnica para la concepción y ejecución de los sistemas técnicos; de construcción (CIN¹-PCONias), dedicadas a la construcción de las obras públicas e instalaciones características⁶¹⁸ de estos sistemas técnicos de agua y residuos sólidos urbanos; y de explotación u operación (CIN¹-POPEias), cuyo objeto es la operación o explotación de los sistemas técnicos con el objeto de proveer de agua potable a una población,

⁶¹⁸ En este grupo se pueden incluir las empresas de elaboración de materiales y fabricación de equipos, tanto del sector productivo del agua (tuberías, válvulas, bombas, tanques, reactores...), como del sector productivo de la gestión de los residuos sólidos urbanos (contenedores de residuos, camiones de recogida, compactadoras, trómeles, separadoras...).

del saneamiento y depuración de las aguas residuales urbanas generadas, y de la gestión de los residuos sólidos urbanos.

El siguiente nivel del complejo institucional, el de redes institucionales del sector productivo de la ingeniería ambiental sanitaria (CIN²-Pias), interesa a las agrupaciones, más o menos formalizadas, de entidades (empresas) del nivel óptico primero. Una de las formas de diferenciar dentro de este nivel del complejo institucional es teniendo en cuenta, dentro de la producción, la subfunción praxiológica (proyecto, construcción, operación) del sistema tecnológico, bien del agua (abastecimiento y saneamiento) y de los residuos sólidos urbanos, puesto que son las funciones productivas más relevantes. Aunque hay que tener también en cuenta un caso frecuente del complejo productivo como es la integración (funcional) de diferentes entidades empresariales a través de la formación de grupos empresariales.

Así, pueden contarse el de las redes empresariales o agrupaciones empresariales de consultoría y proyectos (CIN²-PPROias) de ingeniería del agua, de los residuos sólidos urbanos y de la contaminación del aire urbano, como podría ser la Asociación Española de Consultores Ambientales (AECAM). En este tipo y nivel también podrían considerarse agrupaciones estratégicas o uniones temporales de empresas (UTE) de proyectos que tuvieran como objeto el diseño de proyectos de sistemas técnicos de especial magnitud y complejidad.

También para el área de las empresas constructoras se observa un segundo nivel de complejidad óptica institucional (CIN²-PCONias), formado por asociaciones empresariales de construcción de obra pública de tipo medioambiental. Además, estarían las agrupaciones estratégicas o uniones temporales de empresas (UTE) de construcción. También pueden contarse en este mismo nivel las integraciones empresariales (en donde se integran procesos complementarios de la producción, habitualmente desde la construcción).

En el área de la operación o explotación de las infraestructuras e instalaciones del agua urbana y de los residuos sólidos urbanos se puede observar un segundo nivel óptico, en donde se encuentran asociaciones y redes de empresas de operación (CIN²-POPEias). Estas redes pueden constituirse sobre la base de un objeto común, como podría ser la Asociación Española de Abastecimiento de Aguas y Saneamiento (AEAS). En cuanto a los procesos de integración, puede señalarse como ejemplo el de las empresas mixtas (público-privadas).

En un nivel más de complejidad óptica, el tercero, se encontrarían los sistemas institucionales empresariales (CIN³-Pias), que pueden estar más o menos formalizados, pero cuyo ámbito territorial (regional, estatal) está prácticamente completo, y por tanto dan cuenta del conjunto de los servicios del agua y de los residuos sólidos urbanos en ese ámbito territorial. Este tercer nivel óptico también se descompone en los subsectores productivos de la consultoría de proyectos, la construcción y la operación o explotación de los sistemas. Por ejemplo, el conjunto de las entidades y empresas operadoras de los sistemas de abastecimiento de aguas y de saneamiento y depuración de aguas residuales en una determinada cuenca hidrográfica (gestionada por una Confederación Hidrográfica, como Organismo de cuenca) formarían el complejo institucional de entidades operadoras de los sistemas de agua urbana (CIN³-POPEias).

Finalmente se encuentra el cuarto nivel de complejidad óptica de las redes de sistemas institucionales productivos en ingeniería ambiental sanitaria (CIN⁴-Pias). Son tanto redes internacionales de sistemas institucionales productivos, como sistemas institucionales internacionales de entidades consultoras, constructoras o de explotación de los sistemas técnicos del agua urbana, de los residuos sólidos urbanos, y de la contaminación urbana e

industrial de impacto internacional⁶¹⁹. Aquí pueden caracterizarse las empresas de servicios urbanos (agua y medio ambiente) multinacionales o incluso globales.

7.1.3.4 Complejo institucional del sistema praxiológico de gestión en ingeniería ambiental sanitaria

Como se observa en la representación general del subsistema del complejo institucional, el de gestión está situado por encima del resto, debido a que –como se ha insistido– su objeto de gestión y control sería todo el sistema complejo ingenieril, y no solamente como en los tres anteriores, de los correspondientes sistemas praxiológicos ingenieriles.

Así, en el primer nivel óptico del complejo institucional estarían las instituciones de gestión (CIN¹-Gias), principalmente –por la naturaleza de servicios públicos de la gestión del agua y de los residuos sólidos urbanos– entidades de la administración territorial y sectorial pública⁶²⁰ y, en menor medida, entidades privadas. Una de las instituciones más relevantes es la administración local, puesto que la administración municipal (CIN¹-GMUNias) tiene competencias y responsabilidad directa –dentro de su ámbito territorial– en todos los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria: abastecimiento de agua potable, saneamiento y depuración de aguas residuales, drenaje de pluviales y aguas de escorrentía, recogida selectiva y tratamiento de residuos sólidos urbanos, y control de la contaminación atmosférica y acústica en las ciudades. Este tipo de actividades está enmarcado en ámbitos regionales o mayores, de modo que hay instituciones (administraciones públicas) supramunicipales que tienen también competencias de coordinación y normativas, y que serán entonces también instituciones del primer nivel de complejidad, como pueden ser la administración hidráulica regional (CIN¹-GHIDias), responsable del agua en la totalidad de la cuenca hidrográfica, y la administración de calidad ambiental (CIN¹-GCALias), típicamente responsable de residuos, vertidos y emisiones contaminantes, no sólo de origen urbano sino también industrial y de cualquier otro tipo.

En el segundo nivel de complejidad se encuentran redes de gestión y control del complejo ingenieril (CIN²-Gias), como es el objeto de diversas fundaciones público-privadas, academias ingenieriles y asociaciones transversales.

Mientras que el nivel 2 es más informal, el nivel 3 está más formalizado, hasta el punto de que la participación de las instituciones no es voluntaria sino obligatoria, dotando a ese nivel 3 de legitimidad oficial institucional. En el sistema institucional de gestión (CIN³-Gias) se encontrarían, entre otros, aquellos complejos institucionales que resultan de la integración de instituciones de administración de competencias⁶²¹ en materia de actividades ingenieriles combinadas (energéticas, industriales, hidráulicas, ambientales, marítimas, mineras, agrícolas...), de modo que los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria quedan englobados en una red competencial. Incluso aquellos para gestión marco de otras funciones praxiológicas, tomando como ejemplo la Agencia Estatal de Investigación (AEI), como instrumento para gestionar y financiar actividades de I+D+i.

Finalmente, en el mayor nivel (4) de complejidad óptica del complejo institucional se sitúan las redes de sistemas institucionales. Son sujetos colectivos de la acción tecnológica

⁶¹⁹ En relación con la problemática global de cambio climático, cuya amplitud supera los límites de las actividades y sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

⁶²⁰ Como pueden ser, por ejemplo, las administraciones en el ámbito territorial local o regional de: servicios urbanos, salud pública o protección ambiental.

⁶²¹ En relación con las competencias de administración local o regional, de instituciones del nivel 1, estas corresponderían al ámbito y alcance de las competencias estatales.

ingenieril que se forman por agrupación voluntaria de diferentes sistemas institucionales del nivel 3 (sistemas institucionales típicamente estatales), por lo que el nivel 4 es normalmente de ámbito supranacional. Aquí estarían las redes de sistemas institucionales de gestión de sistemas de la ingeniería ambiental sanitaria (CIN⁴-Gias), como puede ser el caso, en materia de abastecimiento y saneamiento de aguas, de la Organización Mundial de la Salud (OMS). También pueden considerarse como elementos de este nivel de mayor complejidad institucional a las redes de sistemas institucionales que se establecen entre aquellos agentes que comparten un programa o acuerdo internacional. Esto ocurriría, por ejemplo, para la Agenda 2030, muy en concreto para su objetivo 6 ‘Agua limpia y saneamiento’.

7.1.4 Subsistema óntico (iv): la ciudad como toposistema en ingeniería ambiental

Dada la condición de ‘sistema situado’ del sistema óntico material en donde se produce la acción transformadora ingenieril, parece adecuado que esa condición de situado (referido a un determinado ‘territorio’) quede también reflejada en la representación general del sistema óntico material ingenieril. Este ‘territorio’ excluiría los componentes identificados en los subsistemas de agencia humana, artefáctico y del complejo institucional. Este territorio se refiere al resto de los componentes (creados o transformados), por lo que podría incluir: población afectada, los artefactos o sistemas artefácticos del entorno, elementos del supersistema social y del supersistema ecológico. Ya he comentado que creo que una denominación adecuada para este conjunto de elementos podría ser la de ‘toposistema’.

Se ha visto en el complejo artefáctico que en todos los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria hay que dar cuenta de la actividad de una población urbana, y también de otros elementos (como proveedores de recursos o sumideros de productos) que forman parte del ecosistema más próximo. Así, de una forma relativamente simplificada, para el caso de la ingeniería ambiental sanitaria podría hablarse de dos tipos de medios: urbano y natural. El medio urbano o toposistema urbano (TOP-Murias) es esencial a la historia y a la funcionalidad de la ingeniería ambiental sanitaria, reuniendo componentes de población y comunidades humanas (TOP-MURB-POB), componentes artefácticos constructivos (TOP-MURB-ART) y componentes institucionales (TOP-MURB-CIN). Este medio urbano, también conocido como ‘medio construido’ se contrapone en cierta medida a los elementos configuradores del medio natural.

El medio natural o toposistema natural (TOP-MNATias) o (TOP-ECOL) de la ingeniería ambiental sanitaria estará formado por los elementos no urbanos del toposistema. Entre estos se encuentran los recursos hídricos de donde originalmente proceden las aguas de abastecimiento, o las masas de agua a donde se vierten las aguas residuales tratadas o a donde se conduce la escorrentía urbana. Pero también debería contarse como toposistema naturales, el suelo y subsuelo en donde se asienta, la vertical en profundidad del espacio ocupado por el medio construido urbano. Del mismo modo, debe considerarse la masa de aire en la vertical en altura del espacio ocupado por el medio construido urbano.

A partir de lo expuesto, puede considerarse, dentro del sistema óntico de la ingeniería ambiental sanitaria, al subsistema (iv) tópico (*SON-TOPias*) como:

$$SON(iv)-TOPias = < TOP-MURBias, TOP-MNATias >$$

donde,

TOP-MURBias : medio urbano o medio construido como toposistema urbano, incluyendo componentes de sistemas sociotécnicos del supersistema social (*S²SOC*)

como son poblacionales (TOP-MURpob), componentes artefacticos contruidos (TOP-MURart) y componentes institucionales (TOP-MURcin);

TOP-MNATias : componentes del medio natural o del supersistema ecológico (S^2ECOL) como toposistema ecológico, en relación con lo urbano, incluyendo componentes abióticos (aire, agua y suelos) y bióticos (microbióticos, flora y fauna). También puede emplearse como identificador de estos componentes el equivalente TOP-ECOLias, que puede concretarse –según tipología y nivel de complejidad óptica– a partir del modelo de componentes materiales del supersistema ecológico.

7.1.4.1 Supersistema ecológico, marco del toposistema ecológico (TOP-ECOLias)

En el esquema general de los subsistemas ópticos de la ingeniería ambiental sanitaria se muestra la presencia, como componentes (C) y como entorno (E) de elementos del supersistema ecológico, que se incluye en tanto supersistema como entorno del sistema óptico de la ingeniería ambiental sanitaria. Sin embargo, un tratamiento completo del supersistema ecológico, incluyendo el estudio y análisis de diversas contribuciones y proyectos de investigación del sistema ecológico⁶²², superaría los objetivos de esta investigación.

Por este motivo, me limito a presentar un esquema de lo que entiendo sería una estructura marco del sistema ecológico, del que puedo derivar los componentes principales que pueden formar parte del toposistema ecológico (*TOP-ECOLias*) de un medio urbano y de su zona de influencia, en relación con los sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria. En esta propuesta, como se observa en la representación, se trabaja por una parte (eje vertical) con los componentes, según nivel de complejidad óptica (desde el nivel 0 hasta un nivel 5), mientras que por otra parte (eje horizontal), se presentan organizados los tipos de componentes. En primer lugar, los componentes abióticos: aire (AIR), agua (HID) y suelo-subsuelo (GEO). Y en segundo lugar los componentes bióticos: microbiota (MBI), flora (FLO) y fauna (FAU).

Los niveles de complejidad óptica se han planteado tomando como referencia los grupos de tipo biótico, en donde pueden diferenciarse claramente el nivel de individuos (n_0), el siguiente de poblaciones (n_1) como conjunto de individuos de una especie determinada, y por encima de ellos el de comunidades (n_2) como conjunto de individuos pertenecientes a distintas especies. Para los grupos bióticos, estos primeros niveles podrían corresponder a un teórico ‘unidades’ para el n_0 , dejando para los siguientes (n_1 y n_2) la consideración de ‘masa’ de aire o de agua, y de formación para la correspondiente a suelo-subsuelo. Como se observa, a partir del nivel 3 de complejidad se identifica a los ecosistemas, en los que puede diferenciarse la biocenosis o comunidad de componentes vivos, y el biotopo o medio abiótico que acoge o soporta dicha biocenosis.

⁶²² Entre estos proyectos, puede destacarse el proyecto ENVO (environmental ontology), como una base de datos de ontologías ambientales, dentro del marco de proyectos de investigación (big data) en ontologías biomédicas (Ontobee), soportados por el instituto European Bioinformatics Institute (EMBL-EBI). <https://www.ebi.ac.uk/ols/ontologies/envo> (acceso febrero 2020).

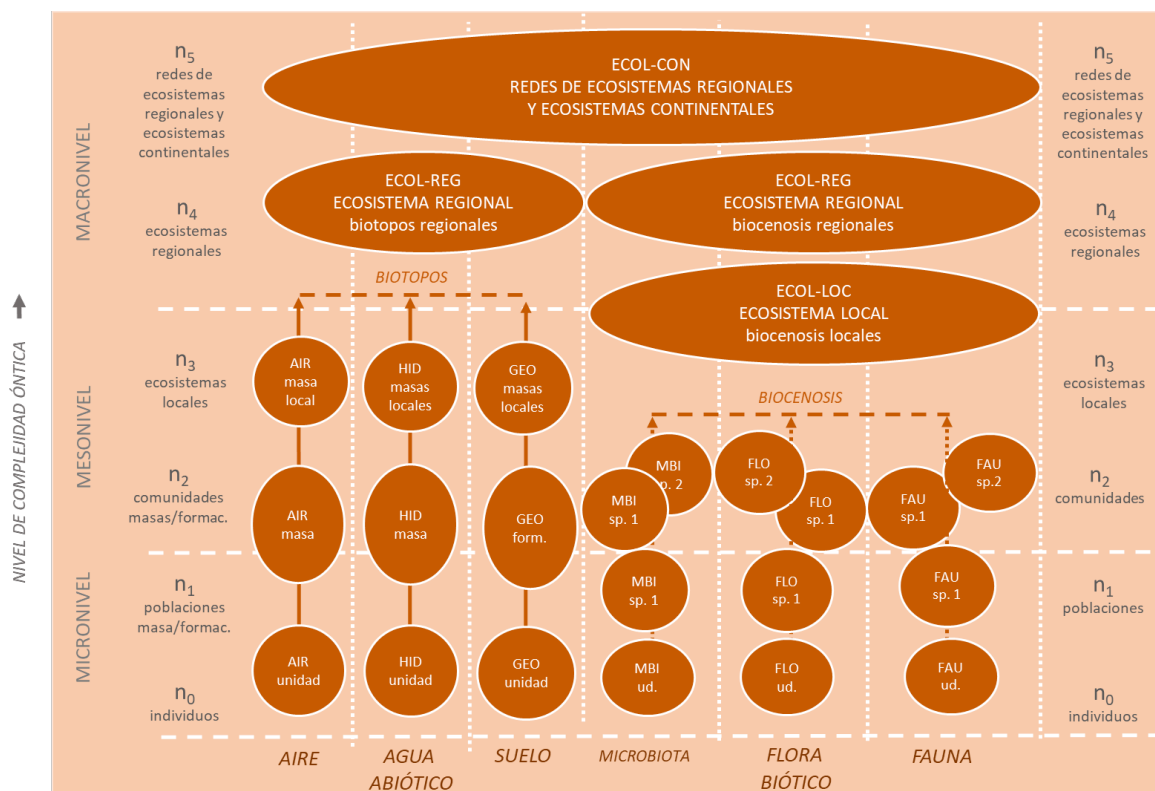


Fig. 7.1.4.a) Esquema de componentes materiales del supersistema ecológico (S^2ECOL)

Entonces, los ecosistemas locales (n_3) ya incluyen necesariamente tanto biocenosis como determinados elementos del biotopo. Estos ecosistemas son de dimensiones reducidas, pudiendo entenderse por su dimensión como capaces de albergar un medio urbano, una ciudad. Por encima de este nivel he considerado uno de ecosistemas regionales (n_4) que puede estar formado bien por ecosistemas de esa magnitud o también por redes de ecosistemas locales. Finalmente, propongo el nivel más alto de complejidad (n_5) para los ecosistemas globales o las redes de ecosistemas regionales. Debe precisarse que los niveles de complejidad son incluyentes, tanto respecto de los niveles de complejidad inferior, como –a partir de los niveles de biotopo, biocenosis y ecosistema– de los diversos componentes. Así, por ejemplo, puede hablarse de un componente del grupo agua del nivel 4, como sería por ejemplo un mar, como masa de agua ($ECOL^4-HIDmas$).

A partir de lo expuesto y de la representación, pueden identificarse los componentes típicos del toposistema ecológico de la ingeniería ambiental sanitaria ($TOP-ECOLias$), incluyendo en todo caso aquellos que aparecen recogidos en los cinco sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria. De modo que:

$$C_SON(iv)-TOP-ECOLias = \langle ECOL^n-AIRmau, ECOL^{4-5}-AIRma, ECOL^n-HIDpre, ECOL^n-HIDma, ECOL^n-HIDmad, ECOL^{4-5}-HIDred, ECOL^n-GEOsue, ECOL^{3-4}-GEOrel, ECOL^{2-3}-FLOpar, ECOL^3-LOC, ECOL^4-REG \rangle$$

donde,

$ECOL^n-AIRmau$: masa de aire urbano, típicamente de nivel 2-4 en función del tamaño de la ciudad o territorio de referencia;

$ECOL^{4-5}-AIRma$: masa de aire de magnitud e influencia regional o continental, que puede afectar a la dinámica de masas de aire urbano, y que puede entenderse como

depósito de elementos de ciclos de elementos (partículas, gases como CO₂) influyentes en clima regional y global;

ECOLⁿ-HIDpre : agua de precipitación, sobre una ciudad (ECOL²⁻³-HIDpre), sobre una cuenca hidrográfica regional (ECOL⁴-HIDpre), o sobre una cuenca continental (ECOL⁵-HIDpre);

ECOLⁿ-HIDma : masa de agua genérica en ubicación (superficial o subterránea) y en su composición (dulce, salobre o salada);

ECOLⁿ-HIDmad : masa de agua dulce, en particular de nivel local o regional (ECOL³⁻⁴-HIDmad) que pueden emplearse como recurso para abastecimiento, o que forman un eje natural de drenaje (río) o lago en cuya ribera se encuentra un medio urbano;

ECOL⁴⁻⁵-HIDred : conjunto de masas de agua articuladas como red hídrica (superficial y subterránea) de magnitud regional o continental;

ECOLⁿ-GEOsue : formación edafológica o superficial, para un emplazamiento o ámbito local (ECOL²⁻³-GEOsue) sobre el que se realizan actividades o se encuentran instalaciones que potencialmente pueden afectar a ese medio;

ECOL³⁻⁴-GEOrel : formaciones geológicas de sustrato que configuran un relieve y morfología determinada, características topográficas de un medio urbano;

ECOL²⁻³-FLOpar : formación de vegetación herbácea, arbustiva y arbórea que conforman los parques y jardines en un medio urbano;

ECOL³-LOC : conjunto de componentes (abióticos y bióticos) que configuran un determinado y completo ecosistema local en un medio urbano (como puede ser un ecosistema fluvial de ribera), o zona de influencia de los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria;

ECOL⁴-REG : conjunto de componentes (abióticos y bióticos) que configuran una red de ecosistemas locales o un ecosistema regional en un complejo metropolitano, o zona de influencia de los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

7.2 ENTRE EL MUNDO Y LA CULTURA INGENIERIL AMBIENTAL: SISTEMAS SEMIÓTICOS

El sistema óptico material ingenieril que se ha visto incluye, además de los componentes exclusivamente materiales, a los sistemas semióticos (lenguajes y sistemas gráficos) del mundo de la ingeniería ambiental sanitaria que, en todo caso, son una especificación de los sistemas semióticos del mundo ingenieril que se han analizado en el modelo general de la ingeniería. Quiero recordar de nuevo que estos lenguajes y sistemas gráficos son sistemas semióticos de naturaleza dual (concreta-abstracta), que se adjuntan al sistema óptico general, específicamente a los subsistemas (i) de agencia humana y (iii) del complejo institucional.

Los sistemas semióticos (*SLGias*), tanto los distintos lenguajes (naturales y formales) como los sistemas gráficos, articulan el espacio de relaciones (de tipo inmaterial, informativo) entre los componentes materiales humanos de la ingeniería, señaladamente a través de las comunidades profesionales (*COPIas*) participando de la cultura de la ingeniería ambiental sanitaria, que se despliega en los sistemas conceptuales epistémico (*SEPias*), metodológico (*SMEias*), axiológico (*SAXias*) y ético (*SETias*).

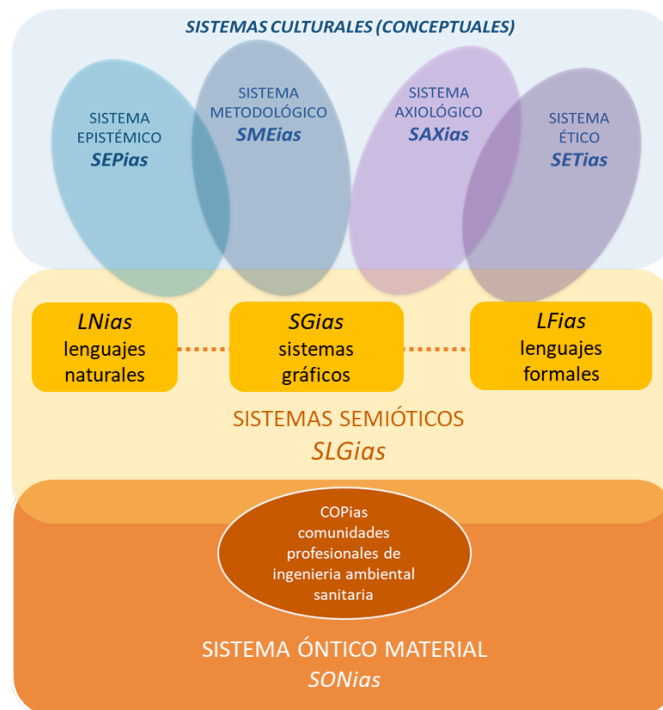


Fig. 7.2.a) Esquema para destacar la posición de los sistemas semióticos, tanto lenguajes como sistemas gráficos, de la ingeniería ambiental sanitaria (*SLGias*), entre el sistema óptico y los sistemas culturales

Para el modelo general de la ingeniería ya se ha detallado una propuesta de clasificación de los sistemas semióticos en tres grupos, que es igual de válida para la ingeniería ambiental sanitaria, en donde se contemplan: lenguajes naturales (*SLNias*), lenguajes formales (*SLFias*) y sistemas gráficos (*SGias*). Como se ha visto, en la práctica ingenieril estos sistemas semióticos trabajan de forma conjunta, combinándose en textos multisemióticos. Estos sistemas semióticos conforman una de las señas de identidad que comparte la comunidad profesional ingenieril de la ingeniería ambiental sanitaria (*COPIas*), hasta el punto que el nivel de formación y experiencia ingenieril podría correlacionarse, en gran medida, en el conocimiento y uso de estos diversos sistemas, y en el grado de comunicación que se consigue a partir de su manejo.

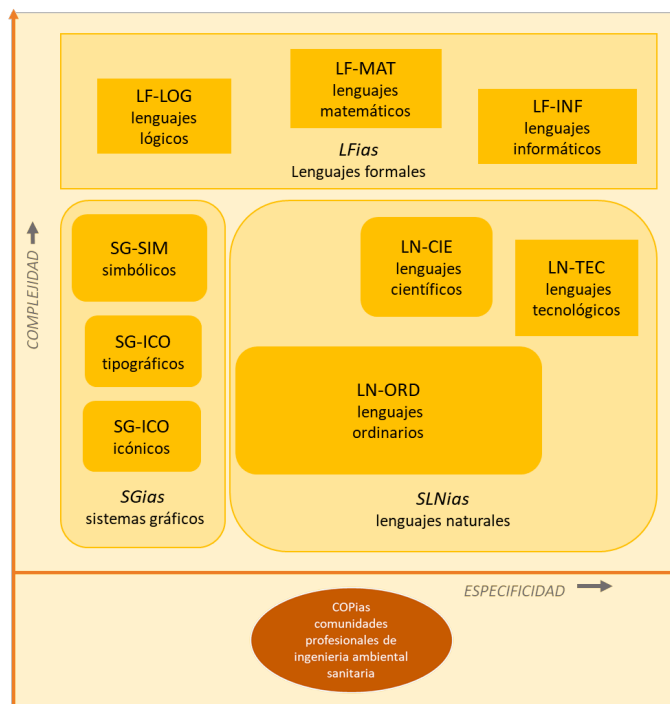


Fig. 7.2.b) Grupos de sistemas semióticos (lenguajes y sistemas gráficos) en ingeniería ambiental sanitaria

En todo caso, y a pesar de que estos sistemas semióticos vayan usándose de forma combinada, lo que se observa tanto en métodos ingenieriles (diseño⁶²³, pruebas, evaluación...) como en la documentación ingenieril de todo tipo (análisis, informes, estudios, proyectos...), parece conveniente analizarlos de forma individualizada. Entonces, puede presentarse una caracterización del conjunto más amplio de sistemas semióticos de lenguajes y sistemas gráficos de la ingeniería ambiental sanitaria (*SLGias*) como:

$$SLGias = < SLNias [ORD, CIE, TEC], SLFIas [LOG, MAT, INF], SGias [ICO, SIM, TIP] >$$

donde,

SLNias : lenguajes naturales de la ingeniería ambiental sanitaria, como sistemas semióticos lingüísticos, pudiendo diferenciar entre ordinarios (ORD), científicos (CIE) o tecnológicos (TEC);

SLFIas : lenguajes formales de la ingeniería ambiental sanitaria, como sistemas semióticos lingüísticos, diferenciando entre lenguajes lógicos (LOG), matemáticos (MAT) e informáticos (INF);

SGias : sistemas gráficos de la ingeniería ambiental sanitaria, como sistemas semióticos, pudiendo diferenciar entre icónicos (ICO), simbólicos (SIM) y tipográficos (TIP).

De acuerdo con los tipos de sistemas semióticos, tanto lingüísticos como gráficos, se puede seguir una ruta de elucidación para llevar a un análisis más detallado de los distintos sistemas semióticos involucrados, de forma conjunta en la mayor parte de los casos, en las

⁶²³ Véase, por ejemplo, en *Engineering Philosophy* de Bucciarelli (2003: 15-21) sobre el análisis de diferentes lenguajes combinados en el proceso de diseño ingenieril.

manifestaciones culturales de la ingeniería, a través de los sistemas: de conocimiento o epistémico, metodológico, axiológico y ético. Por su importancia para la ingeniería ambiental sanitaria, este análisis se desarrolla con más profundidad, identificando los componentes (C), entorno (E) y estructura (S), para los sistemas de lenguajes naturales (*SLNias*), lenguajes matemáticos (*SLF-MATias*), lenguajes informáticos (*SLF-INFias*) y sistemas gráficos simbólicos (*SG-SIMias*).

7.2.1 Lenguaje natural especializado de ingeniería ambiental sanitaria (*SLNias*)

El lenguaje natural especializado de la ingeniería ambiental sanitaria se ha ido formando a lo largo del desarrollo de la propia especialidad ingenieril. De modo que podemos atender, en cualquier momento, a una triple composición. En primer lugar, una base de lenguaje natural ordinario de comunicación general (LN-ORD), para lo que se puede considerar que, en la actualidad, la ‘lengua franca’ (o tal vez mejor, lenguaje natural alfa) de interrelaciones de las comunidades científicas y tecnológicas globales sería el idioma inglés (LN-ORDeng). En nuestro caso, dado que el análisis se realiza desde el ámbito hispano-hablante, también conviene señalar lo que sería una lengua también de intercambio internacional, pero con una influencia de segundo orden (lenguaje natural beta, en estos términos) como es el castellano (LN-ORDcas). Este es el lenguaje natural que tomo como referencia de base para definir, en este caso, el lenguaje natural de la ingeniería ambiental sanitaria.⁶²⁴

El lenguaje natural ordinario es, en todo caso, solamente una parte del lenguaje natural de la ingeniería ambiental sanitaria, puesto que se le debe incluir los elementos correspondientes del lenguaje natural científico (LN-CIE), los del tecnológico (LN-TEC) y los genéricos ingenieriles (LN-ING). Razonando como en el caso anterior, se observa que el inglés es la lengua de referencia internacional en lo científico (LN-CIEeng), lo tecnológico (LN-TECeng) y lo genérico ingenieril (LN-INGeng), por lo que estos componentes han de tener presencia en una ingeniería ambiental sanitaria ‘internacionalizada’, como se pretende.

De la misma forma, la comunicación en castellano, en el lenguaje natural ordinario (LN-ORDcas), de la ingeniería ambiental sanitaria, se completa con el lenguaje científico en castellano (LN-CIEcas), el tecnológico en castellano (LN-TECcas), y el ingenieril en castellano (LN-INGcas).

Dado que los componentes del lenguaje natural pueden disponerse según grado de complejidad. El nivel básico es el de los elementos alfanuméricos y símbolos auxiliares (LN⁰) es común entre el lenguaje inglés y el castellano. A partir del siguiente nivel, de palabras, ya se encuentran las diferencias propias entre los distintos idiomas, aunque sean menores para el caso de los lenguajes científicos y lenguajes técnicos, en donde los términos proceden habitualmente de raíces griegas o latinas.

La composición de la terminología de los lenguajes naturales científicos, tanto para el de inglés (LN¹⁻²-CIEeng) como para castellano (LN¹⁻²-CIEcas), se nutre de las ciencias (disciplinas y subdisciplinas) de referencia para la ingeniería ambiental sanitaria como: hidrología superficial, hidrología subterránea, hidroquímica, climatología, química inorgánica, microbiología, edafología, geología regional, ecología, demografía, geografía urbana y economía ambiental. Estas disciplinas científicas constituyen, como se verá, el trasfondo de conocimiento científico de la ingeniería ambiental sanitaria (TCE-CIEias), que

⁶²⁴ Dado que el inglés es la lengua internacional de referencia en la ingeniería, y por tanto también en la ingeniería ambiental sanitaria, se hace necesario mencionar al menos la dependencia en forma de procesos de traducción, entre los términos y textos en inglés al castellano, y viceversa (a efectos de publicación y difusión desde el ámbito castellanohablante).

se articula en los niveles léxicos de mayor complejidad, tanto en inglés (LN³⁻⁴-CIEeng) como en castellano (LN³⁻⁴-CIEcas).

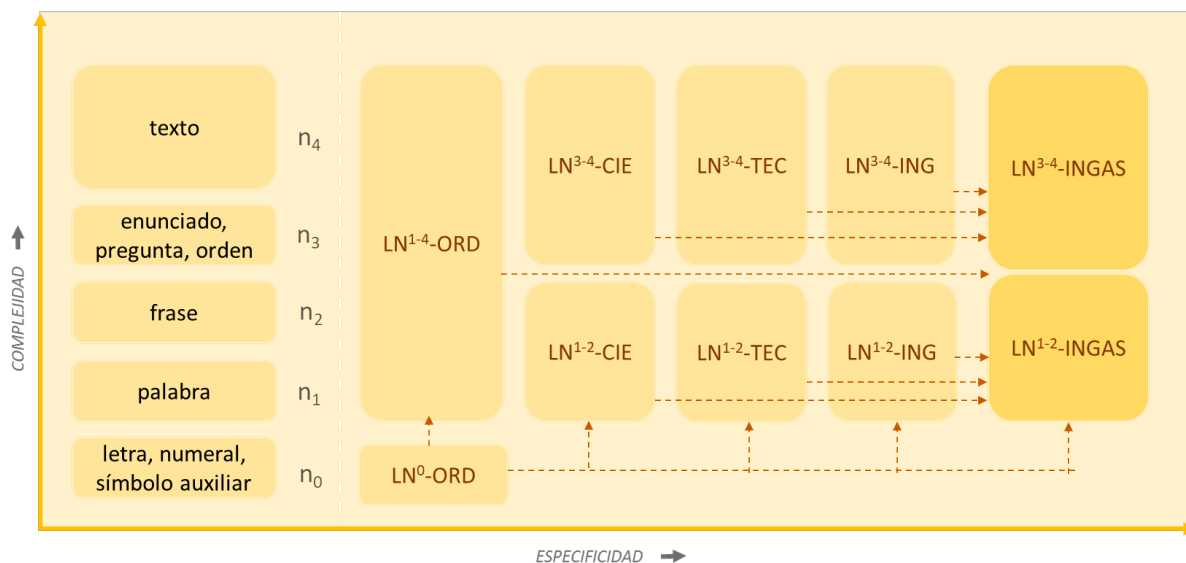


Fig. 7.2.1.a) Componentes, según niveles, de lenguaje natural de la ingeniería ambiental sanitaria (SLNias)

Por otra parte, la terminología de los lenguajes naturales tecnológicos (LN¹⁻²-TEC), ya sea en inglés o en castellano, está presente en tecnologías (no ingenieriles) como: higiene y salud pública, biotecnología (macro y micro), urbanismo o logística. Estas disciplinas tecnológicas forman parte del trasfondo de conocimiento tecnológico de la ingeniería ambiental sanitaria (TCE-TECias), que incluye los niveles léxicos de mayor complejidad (LN³⁻⁴-TEC).

El lenguaje natural resultante de la ingeniería ambiental sanitaria también incluye terminología procedente del común de las tecnologías físicas o ingenierías (excluyendo la ingeniería ambiental sanitaria) como: construcción civil, hidráulica, geotecnia, electrotecnia o química industrial. Son disciplinas de trasfondo de conocimiento específico ingenieril de la ingeniería ambiental sanitaria (TCE-INGias), incluyendo los niveles léxicos de mayor complejidad (LN³⁻⁴-ING).

Finalmente, se completaría el lenguaje natural de la ingeniería ambiental con las aportaciones específicas del fondo de conocimiento de la ingeniería ambiental sanitaria (FC-INGas), tanto en los niveles léxicos de la terminología (LN¹⁻²-INGas), como en los niveles más altos de complejidad (LN³⁻⁴-INGas), tanto en inglés como en castellano.

La primera, la terminología específica del lenguaje natural de la ingeniería ambiental sanitaria (LN¹⁻²-INGas) puede identificarse a partir de los contenidos en glosarios (de los textos de referencia de la ingeniería ambiental sanitaria), de las entradas específicas (del campo de la ingeniería civil, ingeniería ambiental o ingeniería sanitaria) de diccionarios de ingeniería generalistas⁶²⁵, o en diccionarios más especializados como *Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment*, de Bahadori, A. & Smith, S.T. (2016).

⁶²⁵ Puede tomarse como ejemplo de referencia, que se utilizará más adelante: Diccionario de la Real Academia [Española] de Ingeniería (DRAI).

En todas estas fuentes documentales están disponibles un conjunto de elementos lingüísticos (terminología especializada) que tanto denotan objetos materiales (componentes del sistema óptico material, del mundo material ingenieril) como designan conceptos (componentes de los sistemas de la cultura de la ingeniería ambiental sanitaria: epistémicos, metodológicos, axiológicos y éticos).

De este modo, el conjunto de los componentes del lenguaje natural (en castellano) de la ingeniería ambiental sanitaria (C_LNias) sería:

$$C_LNias = < COPIas, LN^0-ORD, LN^{1-4}-ORDcas, LN^{1-2}-CIEcas-x, LN^{1-2}-TECCas-x, LN^{1-2}-INGcas-x, LN^{1-2}-INGAScas-x, LN^{3-4}-CIEcas-x, LN^{3-4}-TECCas-x, LN^{3-4}-INGcas-x, LN^{3-4}-INGAScas-x >$$

donde,

COPIas : comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria, como componentes de la agencia humana intencional;

LN^0-ORD : componentes de nivel léxico 0, caracteres alfanuméricos y símbolos auxiliares, tanto del castellano como del inglés;

$C^{1-4}LN-ORDcas$: componentes de lenguaje natural ordinario (castellano) desde nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 4, desde conceptos hasta textos;

$LN^{1-2}-CIEcas-x$: componentes de niveles léxicos 1-2 (conceptos) de lenguaje natural especial científico, en castellano, incluyendo los términos procedentes de otros idiomas, singularmente del inglés;

$LN^{1-2}-TECCas-x$: componentes de niveles léxicos 1-2 relativos a conceptos, de lenguaje natural técnico específico (excluyendo el de tecnologías ingenieriles o ingenieril), en castellano, incluyendo los términos traducidos de otros idiomas, como el inglés;

$LN^{1-2}-INGcas-x$: componentes de niveles léxicos 1-2 relativos a conceptos, de lenguaje natural ingenieril específico (excluyendo el específico de la ingeniería ambiental sanitaria), en castellano, incluyendo los términos traducidos de otros idiomas, como el inglés;

$LN^{1-2}-INGAScas-x$: componentes de niveles léxicos 1-2 relativos a conceptos, de lenguaje natural de la ingeniería ambiental sanitaria, en castellano, incluyendo los términos traducidos de otros idiomas, como el inglés;

$LN^{3-4}-CIEcas-x$: componentes de niveles léxicos 3-4 (hasta textos completos), de lenguaje natural de trasfondo de conocimiento científico, incluidos textos traducidos;

$LN^{3-4}-TECCas-x$: componentes de niveles léxicos 3-4 (hasta textos completos), de lenguaje natural de trasfondo de conocimiento tecnológico, incluidos textos traducidos;

$LN^{3-4}-INGcas-x$: componentes de niveles léxicos 3-4 (hasta textos completos), de lenguaje natural de trasfondo de conocimiento ingenieril, incluidos textos traducidos;

$LN^{3-4}-INGas$: componentes de niveles léxicos 3-4 (hasta textos completos), de lenguaje natural de fondo de conocimiento de la ingeniería ambiental sanitaria, incluidos textos traducidos.

El entorno (E) de lenguaje natural de la ingeniería ambiental sanitaria (E_LNias) será, en sentido bungeano, la colección de elementos naturales y sociales a los que se refieren las expresiones del lenguaje. Aquí se pone de manifiesto claramente la función puente (material-conceptual) del lenguaje natural ingenieril entre la comunidad profesional ingenieril, por una parte, y por otra parte tanto el resto del mundo material ingenieril (sistema óptico material ingenieril) como la cultura ingenieril (sistemas epistémico, metodológico, axiológico y ético), y la praxis ingenieril (sistemas funcionales praxiológicos ingenieriles). Todos estos serían, en

mi opinión los elementos que constituyen el entorno próximo del sistema lenguaje natural ingenieril (*LNias*).

Por otra parte, puede considerarse, como entorno menos próximo tanto el supersistema social (con sus sistemas político, económico y cultural), como el supersistema ecológico (con la salvedad de los componentes ecológicos del toposistema del sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria).

Respecto a la estructura (S) del lenguaje natural de la ingeniería ambiental sanitaria (*S_LNias*), se consideran las relaciones sintácticas, semánticas y pragmáticas que se dan entre los componentes del sistema y entre los componentes y el entorno del sistema. Las primeras (C-C), que forman la estructura interna o endoestructura son, como ya se ha citado, la sintaxis del lenguaje (incluyendo la interconexión de los niveles léxicos) más las relaciones entre los conceptos designados.

Por otra parte, la exoestructura del lenguaje, siguiendo a Bunge (2004: 88) “es la colección de relaciones que vinculan los signos de *L* [*LNias*] con el mundo (natural, social y cultural), en particular con la persona que habla y su interlocutor. Las relaciones de designación, denotación (o referencia), hablar y oír pertenecen a la exoestructura de un lenguaje: relacionan signos con conceptos y cosas concretas. En otras palabras, la exoestructura de un lenguaje es su contorno, o sea el puente entre el lenguaje y el mundo.”

De forma integrada, el sistema semiótico del lenguaje natural de la ingeniería ambiental sanitaria (*SLNias*) estará formado, además de por componentes de la comunidad profesional ingenieril (COPIas), por una serie de componentes (*C_LNias*), de entornos (*E_LNias*) y de relaciones (*S_LNias*), como se han presentado.

7.2.2 Lenguajes formales, de alta abstracción, en ingeniería ambiental (*SLFias*)

Como se ha señalado, los lenguajes formales se caracterizan, respecto a los lenguajes naturales, por una mayor artificialidad y abstracción, como es el caso de los lenguajes lógicos, matemáticos e informáticos. Estos dos últimos son muy relevantes en las tecnologías ingenieriles, por lo que voy a desarrollar como lenguajes formales en la ingeniería ambiental sanitaria (*LFias*) tanto a los matemáticos (*LF-MATias*) como a los informáticos (*LF-INFias*).

7.2.2.1 Lenguaje formal matemático en ingeniería ambiental sanitaria (*SLF-MATias*)

El lenguaje formal matemático es un sistema semiótico clave al servicio de la comunidad profesional ingenieril, siendo fundamental para métodos ingenieriles como el cálculo, el diseño y el modelado (matemático). En la ingeniería ambiental, como puede observarse en *Environmental Engineer's Mathematics Handbook* de Spellman & Whiting (2005)⁶²⁶, se emplean diversas modalidades del lenguaje matemático como: geometría (*LF-MATgeo*), álgebra (*LF-MATalg*), cálculo (*LF-MATcal*), estadística (*LF-MATest*) y modelización (*LF-MATmod*). Así, estas modalidades pueden considerarse como subtipos de lenguaje matemático en la ingeniería ambiental sanitaria.

Como en los lenguajes ya considerados, también para los lenguajes formales pueden establecerse diferentes niveles léxicos, desde un nivel 0, que correspondería a los elementos alfanuméricos y símbolos especiales matemáticos (*LF⁰-MAT*) hasta el mayor nivel de complejidad (*LF⁴-MAT*). Además, habitualmente, el lenguaje matemático en el uso ingenieril viene acompañado de componentes de lenguajes naturales (*LN⁰⁻⁴-INGas*) y, frecuentemente, también de componentes propios de lenguajes gráficos simbólicos (*LG⁰⁻⁴-SIMias*).

⁶²⁶ Spellman, Frank R. & Whiting, Nancy E. (2005): *Environmental Engineer's Mathematics Handbook*, CRC Press, 644 pp.

En todo caso, el conjunto de los componentes del sistema semiótico de un lenguaje formal matemático de una ingeniería estaría formado por los siguientes grupos de componentes:

$$C_LF-MATias = < COPIas, LF^{0-4}-MATgeo, LF^{0-4}-MATalg, LF^{0-4}-MATcal, \\ LF^{0-4}-MATest, LF^{0-4}-MATmod, LN^{0-4}-INGas, SG^{0-4}-SIMias >$$

donde,

COPIas : comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria, como componentes de la agencia humana intencional;

LF⁰⁻⁴-MATgeo : componentes matemáticos de niveles léxicos (0-4) de geometría;

LF⁰⁻⁴-MATalg : componentes matemáticos de niveles léxicos (0-4) de álgebra;

LF⁰⁻⁴-MATcal : componentes matemáticos de niveles léxicos (0-4) de cálculo;

LF⁰⁻⁴-MATest : componentes matemáticos de niveles léxicos (0-4) de estadística;

LF⁰⁻⁴-MATmod : componentes matemáticos de niveles léxicos (0-4) de modelización;

LN⁰⁻⁴-INGas : componentes de lenguaje natural de niveles léxicos (0-4);

SG⁰⁻⁴-SIMias : componentes del sistema gráfico simbólico de niveles (0-4).

Por otra parte, el entorno (E) del sistema semiótico del lenguaje formal matemático de la ingeniería ambiental sanitaria (E_*LF-MATias*), está formado por los elementos (sistemas) naturales y socio-culturales a los que se refieren las expresiones de los componentes anteriores. Considero un entorno inmediato (E_{imm}), como en los lenguajes anteriores, a los sistemas (óntico material, epistémico, metodológico, axiológico, ético y praxiológicos) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria. Y, por otra parte, considero como entorno próximo (E_{prox}) a los sistemas entorno de los sistemas ingenieriles anteriores, así como –de forma general– al sistema cultural científico-matemático (SOC-*CUL-CIEmat*).

A su vez la estructura (S) del lenguaje formal matemático (S_*LF-MATias*) estaría compuesta de una endoestructura, con las relaciones entre componentes (C-C), y de una exoestructura, de relaciones C-E. Se trata de relaciones informativas, singularmente de los tipos sintáctico (estructural), que explica la estratificación de los niveles léxicos de una misma modalidad de lenguaje, así como de relaciones semánticas, y pragmáticas descriptivas.

7.2.2.2 Lenguajes formales informáticos en la ingeniería ambiental (*SLF-INFias*)

Los lenguajes formales informáticos son un tipo de lenguaje (sistema semiótico) destinado a facilitar la comunicación (flujo de información pragmática) de agentes humanos con artefactos informáticos (ARTF⁴-TIC). En la actividad de la ingeniería ambiental sanitaria, esta comunicación interesa a la comunidad profesional (COPIas) y tiene por objeto almacenar, ordenar y procesar información propia de los sistemas conceptuales epistémico y metodológico, así como a los sistemas funcionales praxiológicos. Dentro de esta actividad ingenieril, se destaca el interés por dos tipos de lenguajes formales informáticos (LF-INFias): lenguajes informáticos de programación (LF-INFpro); y lenguajes informáticos de modelización (LF-INFmod).

Los diversos subtipos de lenguajes de programación (LN-INFpro) usados en ingeniería (ej. Fortran, Java, Matlab o Python) responden a distintas necesidades prácticas de niveles de comunicación entre el sistema óntico material (humano y artefáctico) de la ingeniería ambiental sanitaria, con los sistemas conceptuales ingenieriles, singularmente con el epistémico y el metodológico.

Como en los anteriores lenguajes, se propone una distribución por niveles léxicos, en relación con la estructura del lenguaje. Se parte de los elementos básicos (LF⁰-INFpro) como

símbolos alfanuméricos y símbolos especiales. Estos se combinan para establecer un primer nivel de complejidad (LF^1 -INFpro) en donde aparecen datos o constantes, que se sigue con un nivel en donde pueden incluirse, además de variables, expresiones simples, contadores y acumuladores (LN^2 -INFpro). Siguiendo con un encadenamiento de operaciones se alcanzaría el nivel tercero (LN^3 -INFpro), con los algoritmos como componentes característicos. Desde este nivel se pasa al de programas (LF^4 -INFpro) como componentes-sistemas, con una funcionalidad completa.

En cuanto a los lenguajes informáticos de modelización (LF -INFmod), pueden considerarse como un caso particular de los lenguajes informáticos de programación (LF -INFpro) orientado al servicio del diseño y operación de modelos digitales de objetos y procesos ingenieriles. La modelización informática y matemática ha adquirido una relevancia absoluta entre los métodos de modelización. Estos métodos requieren de unos lenguajes de programación, esquemas lógicos y soportes muy específicos, que responden a las necesidades particulares de cada disciplina ingenieril, como puede verse para la ingeniería ambiental en: Nirmalakhandan (2002), *Modeling Tools for Environmental Engineers and Scientist*⁶²⁷; y en Spellman & Whiting (2005), *Environmental Engineer's Mathematics Handbook*.

En este punto, para conformar el total de componentes de un sistema de lenguaje informático de la ingeniería ambiental sanitaria (LF -INFias), además de los componentes referidos, que serían los característicos de lenguajes informáticos de programación y de modelización, se hacen necesarios otros componentes que proceden del lenguaje gráfico simbólico (flechas, diagramas...), del lenguaje natural, así como artefactos informáticos y, por descontado, miembros de la comunidad profesional ingenieril.

De este modo, el conjunto de los componentes del sistema semiótico del lenguaje formal informático para la ingeniería ambiental sanitaria (LF -INFias), podría representarse como:

$$C_{LF-INFias} = \langle COPIas, ARTF^4-TIC, LF^{0-4}-INFpro, LF^{0-4}-INFmod, LN^{0-4}-INGas, SG^{0-4}-SIMias \rangle$$

donde,

$COPIas$: comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria;

$ARTF^4-TIC$: artefactos tecnologías de información del nivel óptico 4 (ordenadores...);

$LF^{0-4}-INFpro$: conjunto de componentes informáticos característicos, desde el nivel léxico 0 hasta el nivel léxico 4, de un lenguaje informático de programación;

$LF^{0-4}-INFmod$: conjunto de componentes informáticos característicos, desde el nivel léxico 0 hasta el nivel léxico 4, de un lenguaje informático de modelización;

$LN^{0-4}-INGas$: conjunto de componentes, desde el nivel léxico 0 hasta el nivel léxico 3, del lenguaje natural de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SG^{0-4}-SIMias$: conjunto de componentes, desde el nivel 0 hasta el 4, del sistema gráfico simbólico de la ingeniería ambiental sanitaria.

El entorno (E) del sistema (semiótico) del lenguaje formal informático de la ingeniería ambiental sanitaria ($E_{LF-INFias}$), está formado por los elementos (sistemas) naturales y socio-culturales a los que se refieren las expresiones de los componentes anteriores. Considero un entorno inmediato (E_{imm}), como en los lenguajes anteriores, a los sistemas (óptico material, epistémico, metodológico y praxiológicos) del sistema complejo ingenieril. Y, por otra parte, considero como entorno próximo (E_{prox}), en primer lugar, a los sistemas

⁶²⁷ Nirmalakhandan, N. (2002): *Modeling Tools for Environmental Engineers and Scientist*, Boca Raton, FL, CRC Press.

axiológico y ético⁶²⁸, y además a los sistemas entorno de los sistemas ingenieriles anteriores, así como –de forma general– al sistema cultural informático.

A su vez la estructura (S) del lenguaje formal informático de la ingeniería ambiental sanitaria (*S_LF-INFias*) estaría compuesta de una endoestructura, con las relaciones entre componentes (C-C), y de una exoestructura, de relaciones C-E. Se trata de relaciones informativas, singularmente de los tipos sintáctico (estructural) –que explica la estratificación de los niveles léxicos de una misma modalidad de lenguaje– y de relaciones informativas pragmáticas descriptivas y –señaladamente– prácticas.

7.2.3 Sistemas de representación gráfica en ingeniería ambiental (*SGias*)

El tercer grupo de sistemas semióticos de la ingeniería ambiental sanitaria estaría constituido por los sistemas de representación gráfica (*SGias*). Son sistemas semióticos en que las unidades básicas del sistema son, bien signos artificiales icónicos, o bien signos no icónicos específicos, que no pueden leerse sin un código que les acompañe. Esta diferente naturaleza de las unidades básicas, y de los niveles de mayor complejidad semiótica, hace conveniente distinguir dos tipos de sistemas gráficos de la ingeniería ambiental sanitaria. Así, el sistema gráfico de la ingeniería ambiental sanitaria (*SGias*) incluiría el sistema gráfico icónico (*SG-ICOias*) y el sistema gráfico simbólico (*SG-SIMias*).

En primer lugar, estarían entonces los sistemas gráficos icónicos (*SG-ICOias*), que se basan en signos icónicos (no simbólicos). Pueden incluirse aquí representaciones figurativas en dos dimensiones (L^2), como bocetos o dibujos, que son habituales en fases tempranas del diseño ingenieril. En un mayor nivel de complejidad (ya más allá de los sistemas gráficos, característicamente bidimensionales) podrían incluirse también las configuraciones materiales en tres dimensiones (L^3), como son las maquetas o reproducciones a escala, cuando su finalidad sea la representación de un determinado estado de cosas. Podría considerarse como un nivel mayor de complejidad aquellas representaciones de procesos, en donde además de las tres dimensiones espaciales (L^3), se pone en juego la dimensión temporal (T)⁶²⁹.

Para cada subtipo de sistema gráfico icónico pueden describirse diversos niveles de complejidad semiótica, así como para los componentes puede identificarse también su entorno (E), que va a ser principalmente el subsistema cultural (sistema SOCcul). Las relaciones, que definen la estructura (S) tanto interna como externas de entre estos elementos, son informativas, y más concretamente de naturaleza sintáctica o estructural.

El otro subtipo de los sistemas gráficos en la ingeniería ambiental sanitaria serían los simbólicos (*SG-SIMias*). Estos sistemas gráficos tienen sus propios elementos, bien diferentes de los de los lenguajes naturales y de los formales. Sin embargo, como los símbolos no pueden leerse sin un código, es necesario que el sistema gráfico no icónico se acompañe de componentes, al menos del nivel 1 de complejidad léxica (LN^1) de los lenguajes naturales.⁶³⁰ Esto ocurre, por ejemplo, con las leyendas que acompañan a los mapas y planos cartográficos, utilizados con gran profusión en la ingeniería ambiental sanitaria. El sistema gráfico simbólico en la ingeniería permite atender a las necesidades de representación tanto de objetos como de procesos.

⁶²⁸ Dado que en los sistemas axiológico y ético de la ingeniería ambiental sanitaria no se emplean –por lo general– los lenguajes informáticos de programación, no lo he incluido en el entorno inmediato, pero sí se hace necesario que forme parte entonces del siguiente nivel de externalidad del entorno, en este que estoy considerando como entorno próximo.

⁶²⁹ Estos dos formatos tridimensionales ya tendrían que incluirse no en un sistema de representación gráfica, sino en uno más general, un sistema de representación icónica.

⁶³⁰ Esto significa que los sistemas gráficos no son autónomos, sino dependientes en mayor o menor medida de los lenguajes naturales y/o formales, como se verá en la representación de componentes del sistema.

En el modelo general de la ingeniería ya he sugerido la posibilidad de considerar –muy tentativamente– una gradación de niveles para el sistema gráfico de la ingeniería. Considero el nivel 0 (SG^0 -SIMias) para los símbolos elementales que se combinan. He propuesto que la complejidad se correlacione con las dimensiones que entran en juego en la representación gráfica, atendiendo a las tres dimensiones espaciales (L) y la temporal (T). Así, las representaciones aproximadamente unidimensionales (línea de espacio o línea de tiempo) podrían entenderse como componentes del nivel 1, y así denominarse SG^1 -SIMias.

El segundo nivel de complejidad de los sistemas gráficos simbólicos de la ingeniería ambiental sanitaria (SG^2 -SIMias) corresponde a representaciones bidimensionales espaciales (L^2) o espacio-temporales (LT). Este nivel incluiría típicamente todo tipo de gráficos bidimensionales de coordenadas cartesianas, con coordenadas horizontales (abscisas) y coordenadas verticales (ordenadas). Desde aquellos en que se representan elementos físicos del territorio, hasta aquellos en que se representan variables de estado, o representaciones sobre determinadas variables a lo largo de una línea de tiempo, como flujogramas. En todo caso, este tipo de gráficos requieren de un número mínimo de elementos del lenguaje natural, para poder realizar su función comunicativa adecuadamente.

El nivel 3 de complejidad de los componentes del sistema gráfico de la ingeniería ambiental sanitaria (SG^3 -SIMias) comprendería por una parte las representaciones sobre soporte bidimensional (tanto analógico como digital), tanto las que son proyecciones de objetos tridimensionales (planos de infraestructuras, cartografía...), como también las representaciones tridimensionales de plano y tiempo (L^2T). Las primeras, las proyecciones de objetos tridimensionales, son fundamentales para el diseño ingenieril, y por tanto para los sistemas praxiológicos de I+D+i, como para el sistema praxiológico de producción de la ingeniería ambiental sanitaria. Finalmente, el nivel cuarto de componentes del sistema gráfico simbólico de la ingeniería ambiental sanitaria (SG^4 -SIMias), sería de cuatro dimensiones (L^3T), que serían componentes de nivel 3 situados en una flecha temporal, ya sea en formato analógico o digital.

De este modo, los sistemas gráficos simbólicos de la ingeniería (SG -SIMias), incluirían al menos la siguiente colección de componentes:

$$C_{SG-SIMias} = \langle COPIas, SG^0-SIMias, SG^1-SIMias, LN^{1-2}-INGas, SG^2-SIMias, SG^3-SIMias, SG^4-SIMias \rangle$$

donde:

COPIas : comunidades profesionales de ingeniería ambiental sanitaria;

SG^0 -SIMias : componentes de nivel 0;

SG^1 -SIMias : componentes gráficos de nivel 1, unidimensionales (L o T);

LN^{1-2} -INGas : código o leyenda en lenguaje natural ingenieril que acompaña a la figura;

SG^2 -SIMias : componentes gráficos de nivel 2, bidimensionales (L^2 o LT);

SG^3 -SIMias : componentes gráficos de nivel 3, tridimensionales proyectados (L^3 proyectado en L^2 o L^2T);

SG^4 -SIMias: componentes gráficos de nivel 4, tetradimensionales, tipo L^3 proyectado en L^2 incluyendo la dimensión temporal (T).

Como entorno (E) de estos componentes pueden considerarse, en tanto entorno inmediato (E_{imm}), en tanto los lenguajes están también incluidos, del sistema óntico material y de los sistemas culturales (conceptuales): epistemológico, metodológico, axiológico y ético de la ingeniería ambiental sanitaria. Como un entorno próximo (E_{prox}) puede pensarse en el sistema cultural (SOCcul).

7.3 CULTURA DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA: SISTEMAS CULTURALES CONCEPTUALES

Una vez que se dispone de una descripción del mundo material de la ingeniería (sistema óntico material ingenieril, *SONias*), y de los sistemas semióticos (lingüísticos y gráficos) empleados en la ingeniería ambiental sanitaria (*SLGias*) –como sistemas puente entre lo concreto y lo abstracto– puede darse paso ahora a lo que reúno como cultura de la ingeniería ambiental sanitaria. Como ya se ha señalado para el modelo de elucidación ingenieril, la cultura ingenieril –aunque también remite a una base física como soporte de ediciones de libros impresos o sobre soporte electromagnético en formato digital– remite en todo caso a procesos mentales (subjettivos) de los individuos⁶³¹, que tienden a captar algo (entidades conceptuales abstractas) que son intersubjetivas, propias de las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria (*COPIas*), y que remiten –al menos– a cuestiones epistémicas, metodológicas, axiológicas y éticas. Esas entidades abstractas, compartidas, son a su vez los contenidos conceptuales de los lenguajes naturales (*SLNias*), de los lenguajes formales (*SLFias*) y de los sistemas gráficos (*SGias*) que emplean para comunicarse las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria.

Según se ha mostrado en el modelo ingenieril más general, se entiende que el conjunto de las entidades conceptuales abstractas que forman esta cultura ingenieril pueden dividirse en cuatro tipos. También, continuando con el modelo más general, se ha asumido que estos grupos de entidades conceptuales abstractas pueden tratarse como sistemas conceptuales (sistemas formados por entidades conceptuales como componentes), y de acuerdo con el modelo sistemista CES (componentes, entorno y estructura).

Entonces, siguiendo el modelo general ingenieril, los cuatro sistemas (conceptuales) que propongo como componentes-sistema de la cultura de la ingeniería ambiental sanitaria serían: (i) sistema epistémico (*SEPias*), sobre los conocimientos o saberes, que incluye como componentes a los trasfondos de conocimiento (tanto formal, como de conocimientos específicos científicos y tecnológicos), junto al fondo de conocimiento, tanto primario como secundario, de la ingeniería ambiental sanitaria, con una estructura en la que destacan fundamentalmente flujos de información pragmática representativa y descriptiva, de los saberes ingenieriles y sobre los objetos materiales de la ingeniería ambiental sanitaria; (ii) sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria (*SMEias*), sobre el cómo hacer práctico, que incluye como componentes a diferentes métodos ingenieriles (tanto que operan sobre entidades materiales como conceptuales), y en donde la estructura se caracteriza por flujos de información pragmática práctica; (iii) sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria (*SAXias*), sobre teoría de los valores, incluyendo como componentes valores, objetivos y normas, y cuya estructura articula –de forma característica– información pragmática evaluativa o valorativa de la ingeniería ambiental sanitaria y de sus sistemas sociales de entorno (político, económico y cultural); y (iv) sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria (*SETias*), sobre la actitud y las obligaciones de los individuos y colectivos (*COPIas*), respecto a sus acciones (u omisiones) en relación con otros individuos, con otros colectivos y con la sociedad, que incluye componentes como valores (y antivalores) o códigos y métodos de evaluación, entre otros, y en cuya estructura se combinan flujos de información pragmática tanto práctica como evaluativa.

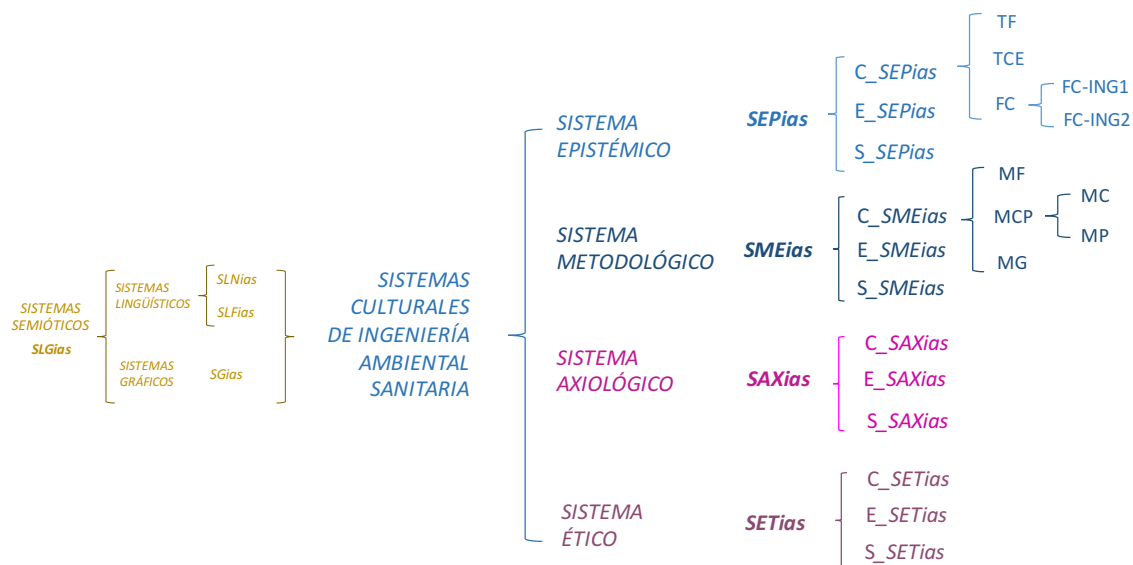
Cada uno de estos cuatro sistemas culturales de la ingeniería ambiental sanitaria se analiza de acuerdo con el modelo sistemista CES, identificando, describiendo y

⁶³¹ Como se ha señalado, de forma general, estos procesos mentales operan con constructos conceptuales (*cf.* Bunge, 1980: 51) con cuatro niveles de complejidad: concepto < proposición < contexto abierto < contexto cerrado.

representando: sus componentes (C), de acuerdo con tipos y niveles de complejidad; el entorno (E), tanto del sistema como de sus componentes; y la estructura (S), tanto la que se da entre componentes (endoestructura) como la que se da entre componentes y entorno (exoestructura).

Por otra parte, dado que se ha señalado que el conjunto de los componentes culturales de estos cuatro sistemas coincide con el conjunto de contenidos conceptuales de los sistemas semióticos (lenguajes naturales, lenguajes formales y sistemas gráficos) de la ingeniería ambiental sanitaria, voy a incluir a los sistemas semióticos –que sean más característicos de cada sistema cultural– entre los componentes de cada uno de dichos sistemas. Esto hace presuponer que, dado que en todos los sistemas culturales se contará al menos con un lenguaje natural ingenieril, en la endoestructura de los sistemas culturales aparecerán siempre relaciones de información sintáctica y semántica.

Todo esto permite mostrar una cierta ruta de elucidación de los cuatro sistemas culturales (epistemológico, metodológico, axiológico y ético) de la ingeniería ambiental sanitaria, como se expone gráficamente en la ruta de elucidación de los sistemas (conceptuales) culturales de la ingeniería ambiental sanitaria.



7.3.a) Ruta de elucidación de los sistemas (conceptuales) culturales de la ingeniería ambiental sanitaria, incluyendo, como precedente, la ruta de elucidación seguida para los sistemas semióticos

7.3.1 Saber ingenieril: sistema epistémico en ingeniería ambiental sanitaria (SEPias)

En tanto la ingeniería ambiental sanitaria es una especificación de las ingenierías civil y ambiental, y por tanto de la ingeniería, comparte la estructura de los sistemas (conceptuales) culturales ingenieriles. Dentro de la cultura inmaterial de la ingeniería ambiental sanitaria, el sistema epistémico articula los contenidos de lo que habitualmente viene conociéndose como ‘saber ingenieril’, un apartado que ha suscitado una notable atención por parte de los investigadores (*cfr.* Bucciarelli, 2003). También puede señalarse que el actual modelo de transmisión de la cultura ingenieril (función praxiológica académico-docente) claramente privilegia la dimensión epistemológica en la cultura ingenieril.

Ya se han expuesto las bases (modelo CES bungeano) de un sistema epistemológico de la ingeniería, de modo que ahora pueden especificarse más el conjunto de los componentes (C),

entorno (E) y relaciones (S) del sistema epistemológico de la ingeniería ambiental sanitaria, y poner este sistema en relación con los que ya se han desarrollado, tanto el sistema óntico material (*SONias*) como los sistemas semióticos, lingüísticos y gráficos, de la ingeniería ambiental sanitaria (*SLGias*).

7.3.1.1 Componentes del sistema epistémico de ingeniería ambiental (*C_SEPias*)

En la ingeniería ambiental sanitaria, como especificación del modelo general de la ingeniería, pueden considerarse cinco grupos de componentes característicos⁶³². De ellos cuatro forman el trasfondo de conocimiento: (i) trasfondo formal lógico-matemático; (ii) trasfondo de conocimiento específico (científico); (iii) trasfondo de conocimiento específico tecnológico (primario y secundario); (iv) trasfondo de conocimiento específico ingenieril (primario y secundario). Por otra parte, los trasfondos de conocimiento, tanto lógico-matemático como de conocimiento específico, representan el conjunto de ciencias, tecnologías e ingenierías cuyos contenidos –en función de la proximidad– pueden ser considerados bien como componentes (C) o bien como entorno (E) del sistema epistemológico.

El quinto grupo de componentes, el más específico, constituye el fondo de conocimiento ingenieril (primario y secundario), que reúne el conjunto de conocimientos característicos, propios o incorporados, de la ingeniería ambiental sanitaria, y que por tanto son los componentes nodulares del sistema epistémico o del conocimiento.

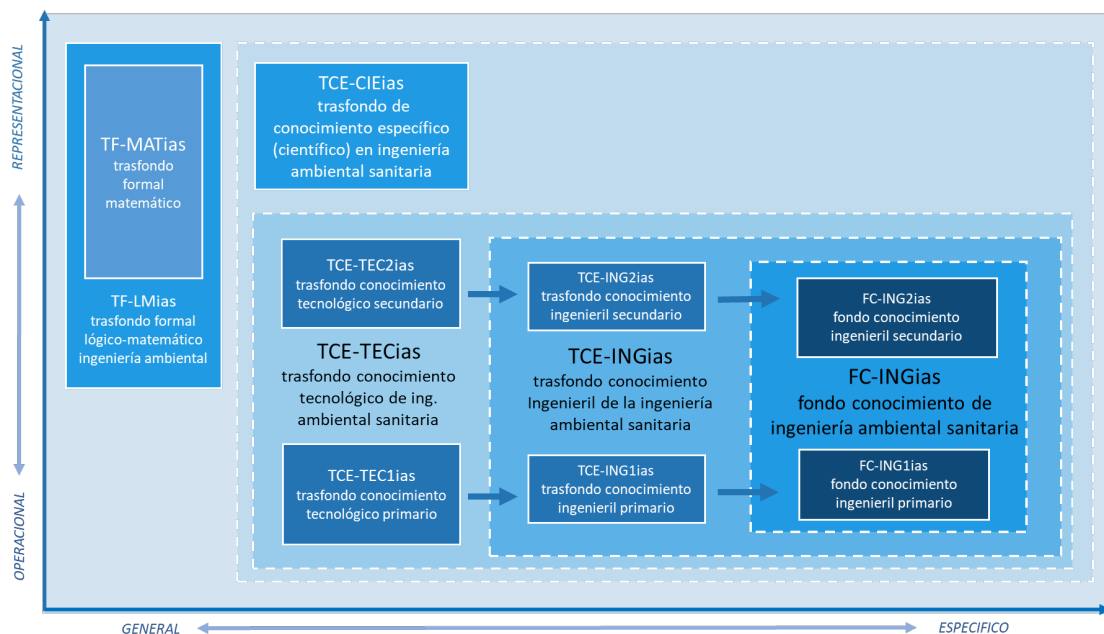


Fig. 7.3.1.a) Grupos de elementos del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria (*SEPias*)

⁶³² Además de estos componentes característicos, se encontrarían los sistemas semióticos de la ingeniería ambiental sanitaria: lenguaje natural (LNias), lenguaje formal (LF) y sistemas gráficos (SGias). Gracias a estos sistemas semióticos se establece la función puente, en última instancia a través de las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria (COPias), entre los elementos concretos de los sistemas semióticos, señaladamente de los sistemas lingüísticos (natural y formal) y los componentes conceptuales del sistema epistemológico.

Como ahora se están identificando los componentes de una concreta actividad ingenieril, voy a invertir el orden del análisis que he realizado en el modelo general de la ingeniería, y en vez de empezar desde los trasfondos hacia el fondo de conocimiento, voy a comenzar desde el fondo de conocimiento de la ingeniería ambiental sanitaria, donde todos sus elementos son componentes. De los trasfondos, como se observará, algunos elementos van a ser componentes, mientras que otros podrán considerarse mejor como entorno del más específico sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria.

Para analizar el fondo de conocimiento de la ingeniería ambiental sanitaria (FC-INGias), hay que traer de nuevo la fundamental división a que se ha llegado entre tipos de conocimiento ingenieril: primario (FC-ING1ias) y secundario (FC-ING2ias). A partir de lo expuesto en el modelo general de la ingeniería, se plantea que el conocimiento ingenieril primario reúne principalmente conocimientos de tipo operacional, descriptivo, directo, sobre –al menos– los elementos materiales (subsistema óptico artefáctico) y las funciones praxiológicas productivas de los sistemas técnicos de la concreta ingeniería, en este caso de la ingeniería ambiental sanitaria. Esto es, en mi opinión, muy relevante.

También, como se ha visto, estos diferentes conocimientos pueden estratificarse en una serie creciente de niveles (incluyentes)⁶³³ de complejidad epistémica, como conocimientos operacionales disponibles acerca de: 1) identificación y componentes del sistema técnico (FC¹-ING1); 2) operaciones básicas del sistema técnico (FC²-ING1); 3) elementos y funciones del sistema técnico (FC³-ING1); 4) reglas e instrucciones del sistema técnico (FC⁴-ING1); y 5) operación integral del sistema técnico (FC⁵-ING1).

En cierto modo, esa gradación de complejidad epistémica del conocimiento ingenieril primario, podría relacionarse, para los niveles más bajos, con un más directo conocimiento sobre los elementos del modelo CES bungeano (especialmente de los componentes, C) del sistema óptico artefáctico. Mientras que los niveles más complejos responderían a un conocimiento más avanzado, del modelo CESM, y por tanto de los mecanismos (M) que se muestran en los sistemas funcionales praxiológicos de cambio (I+D+i) y productivo, muy especialmente de los subsistemas productivo y operacional.

A partir de esto, puede pensarse en una matriz, de modo que en las filas aparecieran los niveles de complejidad epistémica, incluyendo su correlación con el sistema óptico artefáctico (*SON(ii)-ARTias*) y con los sistemas funcionales praxiológicos, y que en las columnas aparecieran los cinco sistemas técnicos de referencia⁶³⁴ de la ingeniería ambiental sanitaria. En esta matriz se apreciarían entonces los componentes más importantes del fondo de conocimiento ingenieril primario de la ingeniería ambiental sanitaria (FC-ING1ias), que son el núcleo del fondo de conocimiento ingenieril primario. En este sentido, puede señalarse que prácticamente el conjunto de todos los componentes identificados (90) en el análisis del sistema óptico (*SON(ii)-ARTias*) para los cinco sistemas técnicos (*STabu*, *STdru*, *STdeu*, *STrsu*, *STcau*) característicos de la ingeniería ambiental sanitaria serían los componentes artefácticos nodulares del primer nivel del fondo de conocimiento primario de la ingeniería ambiental sanitaria (FC¹-ING1ias).

Este fondo de conocimiento ingenieril primario está relacionado con los componentes del fondo de conocimiento ingenieril secundario, en tanto conocimiento ingenieril

⁶³³ Recuerdo aquí que esta inclusividad significa que los niveles más altos incluyen a los más bajos.

⁶³⁴ Los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria que he identificado serían cinco (abastecimiento de aguas, saneamiento y depuración de aguas residuales, drenaje de escorrentías, gestión de residuos sólidos urbanos, y control de calidad del aire), aunque según el medio abiótico de que se trate (aire, aguas, suelos/residuos) puede reducirse a esos tres tipos correspondientes.

representacional, o indirecto⁶³⁵. El fondo primario también está relacionado, con una relación de precedencia y –en cierto modo– de pertenencia, con los trasfondos de conocimiento ingenieril primario (TCE-ING1ias), y de conocimiento tecnológico primario (TCE-TEC1ias). Pero entre esos trasfondos hay una cierta diferencia. En el trasfondo de conocimiento ingenieril primario interesan aquellos conocimientos ingenieriles que sustentan los más específicos de la ingeniería ambiental sanitaria. Por ejemplo, los conocimientos primarios sobre recogida y transporte de residuos sólidos urbanos (RSU), como fondo de conocimiento de la ingeniería ambiental sanitaria, se remitirían a la disciplina de ‘logística inversa’ como trasfondo de conocimiento ingenieril primario. Otros elementos del trasfondo de conocimiento primario ingenieril (TCE-ING1ias) se encontrarían en campos como: ingeniería de fluidos, ingeniería química, tecnología energética, control de calidad del aire o acústica.

En el trasfondo de conocimiento tecnológico primario estarían aquellas disciplinas o áreas tecnológicas más generales que están detrás de los conocimientos primarios de la ingeniería ambiental sanitaria. Esto ocurre, por ejemplo, con la biotecnología, que estaría en el trasfondo del conocimiento sobre biorreactores, bioprocesos (compost) y biosólidos (lodos de depuradora), que ya serían temas del fondo de conocimiento de la ingeniería ambiental sanitaria. Otras áreas de este trasfondo tecnológico primario serían: la tecnología de alimentos o las técnicas de higiene y salud pública.

Estos trasfondos de conocimiento ingenieril y tecnológico primario pueden considerarse bien como componentes (C) o como entorno (E) del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria. Ello depende de la amplitud con que se esté analizando la cuestión y en la medida de que ese trasfondo puede reflejar interrelaciones entre componentes.

Hay que insistir en que la diferencia entre conocimiento ingenieril primario y secundario no es completamente nítida. Si en el primero predominan el componente operacional, en el segundo domina el componente representacional, pero no de forma exclusiva. También, en el conocimiento primario domina –de acuerdo con la propuesta– el conocimiento más directo, material y procesual de sistemas técnicos característicos de la ingeniería, mas en el secundario predomina el marco de conocimiento más general de conocimientos de aspectos más generales de los sistemas o de una cierta generalización de los sistemas técnicos. El fondo de conocimiento ingenieril secundario con orientación operacional (FC-ING2Oias), también relacionado con el saber-cómo (*Know-how*), tendría como componentes genéricos los relacionados con conocimientos sobre: métodos de investigación y de producción, diseños, modelos y planes. Elementos que, como se verá más adelante, son componentes nucleares del sistema metodológico ingenieril. En la ingeniería civil⁶³⁶ y ambiental, pueden considerarse como ejemplos de este tipo de conocimientos: diseño gráfico, metodología general de construcción, cálculo de estructuras, construcción de estructuras de hormigón y acero, u organización de obras.

Por otra parte, el fondo de conocimiento ingenieril secundario de tipo netamente representativo (FC-ING2Rias) está más vinculado al saber-qué (*Know-that*), y en esa medida con los trasfondos de conocimiento ingenieril secundario (TCE-ING2ias), de conocimiento

⁶³⁵ Hablo en este punto de representacional o ‘indirecto’ como antes he hablado de operativo o ‘directo’, porque creo que en ese modo pongo de manifiesto una característica que también creo que puede ser diferenciadora de los conocimientos primario y secundario, y aún más cercana a esta denominación, como es el contacto ‘directo’ del saber que se revela entre el agente que conoce y los objetos conocidos, y por otra parte el contacto ‘indirecto’ entre el agente que conoce y clases de objetos que pueden ser conocidos.

⁶³⁶ A partir de las asignaturas del programa del Grado en Ingeniería Civil y Territorial (2019-20) de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), que tomo como referencia básica de contenidos para ejemplificar componentes del sistema epistémico ingenieril.

tecnológico secundario (TET-TEC2ias), así como el trasfondo de conocimiento específico científico (TCE-CIE) incorporado.

Tanto el fondo de conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2ias) como los trasfondos ingenieriles y técnicos, puede ‘estratificarse’ según niveles de complejidad epistémica, que son incluyentes, y donde tendríamos: nivel 1, datos y conceptos (clasificatorios, comparativos o cualitativos), que represento como FC¹-ING2; nivel 2, proposiciones e hipótesis ingenieriles (FC²-ING2); nivel 3, modelos y contextos abiertos (FC³-ING2); nivel 4, teorías ingenieriles y contextos cerrados (FC⁴-ING2); hasta un nivel 5 que podría denominarse como ‘ciencias ingenieriles’ (FC⁵-ING2). Este fondo de conocimiento ingenieril secundario representacional sería el conjunto de componentes que formarían el núcleo epistémico más característico de una determinada ingeniería, como es el caso de la ingeniería ambiental sanitaria.

Entre esos componentes, en grado de mayor complejidad⁶³⁷, estarían los conocimientos secundarios ingenieriles (representacionales) más característicos de la ingeniería ambiental sanitaria (FC⁴⁻⁵-INGias) como: ingeniería hidráulica (captación, distribución, drenaje, retención, detención de aguas...); tecnologías de tratamiento del agua (potabilización, desalación, desinfección, depuración, regeneración...); tecnologías de tratamiento de residuos sólidos (biosólidos, residuos sólidos urbanos, residuos de construcción, suelos contaminados...), y tecnologías de la calidad del aire (control y medidas anticontaminación).

Continuando con el análisis del fondo de conocimiento ingenieril secundario puede descenderse hasta el nivel epistémico más sencillo (FC¹-ING2ias), de los conceptos, en que se encuadraría la terminología de la ingeniería ambiental sanitaria. En principio, puede señalarse que una parte importante de la terminología, que la reunión de los conceptos habituales en la ingeniería ambiental sanitaria, serían componentes del sistema epistemológico. De modo que, en cierto modo, podría afirmarse que los diccionarios o glosarios técnicos reúnen, por ejemplo, la colección de conceptos relevantes de la ingeniería ambiental. Entonces, referencias documentales como *Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment* de Bahadori & Smith (2016)⁶³⁸ o *Urban Drainage (A Multilingual Glossary)* de Ellis *et al.* (2004)⁶³⁹, serían recopilaciones de conceptos relevantes de la ingeniería ambiental sanitaria. Sin embargo, ni en uno ni en otro –como es lo habitual– se distinguen grupos de familias de conceptos, lo que podría facilitar la identificación de elementos, no solamente del sistema epistemológico, sino también de los sistemas ónticos, así como de los otros sistemas culturales (metodológico, axiológico y ético), y de los sistemas funcionales praxiológicos.⁶⁴⁰

Este fondo de conocimiento secundario característico de la ingeniería ambiental sanitaria tiene, como se ha señalado, un sustrato o trasfondo de conocimiento ingenieril secundario (TEC-ING2ias) que incluye componentes (en diversos niveles) que son precedentes o más generales de los que se utilizan habitualmente en el campo de la ingeniería ambiental sanitaria. Esto se observa bien atendiendo a que la ingeniería ambiental sanitaria es fruto de la convergencia entre la ingeniería civil y la ingeniería ambiental, de modo que es entre los

⁶³⁷ Esta forma de identificar los componentes, empezando por los de mayor complejidad, podría denominarse como ‘método de identificación de arriba abajo (top-down)’.

⁶³⁸ Bahadori, Alireza & Smith, Scott T. (2016): *Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment*.

⁶³⁹ Ellis, Bryan; Chocat, Bernard; Fujita, Shoichi; Rauch, Wolfgang & Marsalek, Jiri (2004): *Urban Drainage. A Multilingual Glossary*. International Water Association (IWA).

⁶⁴⁰ A partir de lo expuesto, entiendo que se abre una nueva opción metodológica (complementaria) que pasaría por clasificar el conjunto de los conceptos (relativos a objetos, procesos, propiedades...) reunidos en tales diccionarios o glosarios, e incluso de los textos ingenieriles (mediante técnicas de ‘minería de datos’) según pudieran, por su contenido, formar parte de los diferentes sistemas del complejo sistémico ingenieril. De este modo se podría contribuir a conformar un corpus de componentes sistémicos de niveles bajos de complejidad. No solamente, como es el caso, para la ingeniería ambiental sanitaria, sino también para otras disciplinas tecnológicas.

conocimientos secundarios de estas dos disciplinas donde se pueden encontrar buenos ejemplos de componentes de un nivel alto de complejidad del trasfondo ingenieril de conocimiento secundario (TCE⁵-ING2ias): hidráulica e hidrología; ingeniería del litoral; geotecnia; mecánica de suelos y rocas; resistencia de materiales⁶⁴¹; tecnologías de construcción; ingeniería estructural; electrotecnia; urbanismo; servicios urbanos; evaluación de impacto ambiental; procesos industriales; ecoeficiencia y producción limpia; explotación de recursos naturales; o gestión de espacios naturales.

El fondo de conocimiento secundario de la ingeniería ambiental sanitaria (FC-ING2ias) también es tributario, no sólo indirectamente a través del trasfondo ingenieril, sino también directamente, de los trasfondos tecnológicos secundarios (TCE-TEC2ias) y del trasfondo de conocimientos científicos (TCE-CIEias).

En el trasfondo de conocimiento tecnológico secundario de la ingeniería ambiental sanitaria (TCE-TECias) se incluyen aquellos conocimientos de áreas tecnológicas diferentes de la de las tecnologías físicas (ingenieriles), que ya se han considerado. Entre los componentes de tecnologías⁶⁴² de alta complejidad epistémica (TCE⁵-TECias) pueden citarse: higiene y salud pública; medicina epidemiológica; bromatología; biotecnología; informática; derecho; y organización empresarial e industrial.

Finalmente, puede señalarse la existencia de un importante trasfondo de conocimiento científico en la ingeniería ambiental sanitaria (TCE-CIEias), lo que da muestras del grado de consolidación y desarrollo de esta ingeniería. Pueden considerarse como ejemplos de niveles altos de complejidad epistémica (TCE⁵-CIEias) a las siguientes especialidades científicas: física, física (de sólidos y fluidos), mecánica, teoría de campos, química, climatología, hidroquímica, bioquímica, hidrología (superficial y subterránea), geología regional, edafología, microbiología, ecología o economía ambiental. Desde estas ciencias el enfoque ambiental ha ido derivando, en un proceso de convergencia, hacia lo que serían propiamente también ciencias ambientales que, como tal, constituyen el fondo específico de referencia para la ingeniería ambiental sanitaria. Autores como Davis y Masten (2005: 1-3) han mostrado las diferencias y relaciones entre las ciencias ambientales y la ingeniería ambiental.

Los contenidos de las ciencias ambientales, como trasfondo de conocimiento específico científico de la ingeniería ambiental sanitaria, se recogen en *Principles of Environmental Science* de Cunningham y Cunningham (2006): principios de ecología; poblaciones, comunidades e interacción entre especies; poblaciones humanas; biomasa y biodiversidad; conservación ambiental (bosques, praderas, parques y reservas naturales); alimentación y agricultura; salud ambiental y toxicología; aire, clima y contaminación; agua, recursos y contaminación; geología ambiental y recursos del territorio; energía; residuos sólidos; sostenibilidad y desarrollo humano; y ciencia y política ambiental.⁶⁴³

Estos trasfondos de conocimiento ingenieril y tecnológico secundario, y científico, pueden considerarse bien como componentes (C) o como entorno (E) del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria. Ello depende de la amplitud con que se esté analizando la cuestión y en la medida de que ese trasfondo puede reflejar interrelaciones especialmente

⁶⁴¹ La resistencia de materiales, como ejemplo de ‘ciencia ingenieril’ es objeto de un detallado análisis en “El papel de las ciencias ingenieriles” de Cuevas Badallo (2005).

⁶⁴² En los ejemplos puede observarse que sigo, en sus consecuencias, la clasificación de Bunge en tecnologías físicas (ingenieriles), que ya he tratado, por lo que ahora incluyo las tecnologías biológicas (incluyendo la medicina) y las tecnologías sociales (incluyendo el derecho), así como las mixtas (informática).

⁶⁴³ Cunningham, William P. y Cunningham, Mary Ann (2006): *Principles of Environmental Science. Inquiry and Applications*, Boston, McGraw-Hill.

relevantes entre componentes. Y también en la medida que esos trasfondos de conocimiento sean efectivamente incorporados a través del sistema praxiológico académico-docente.

Por último, señalar los conocimientos del trasfondo formal lógico-matemático (TF-LM). Pueden considerarse como componentes del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria a todo aquél conocimiento incorporado a la ingeniería, que por lo general se trata de trasfondo formal matemático (TF-M), al que podría añadirse el trasfondo formal informático (TF-I). En todo caso, este trasfondo de naturaleza epistemológica estaría muy vinculado con los lenguajes formales matemáticos e informáticos, como sistemas semióticos, que se han detallado antes, y que se consideran necesariamente como componentes (de naturaleza mixta) del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria. Pueden ponerse como ejemplo de estos conocimientos, del nivel epistémico más elevado (ciencias generales o especialidades científicas), a materias componentes del currículo formativo de la ingeniería civil como: cálculo, álgebra lineal, geometría analítica, estadística, y ecuaciones diferenciales.⁶⁴⁴

Como se puede comprobar, este trasfondo formal matemático no solamente es general, sino que también se ha ido acomodando específicamente a las necesidades y transformación de la ingeniería ambiental, de lo que da cuenta publicaciones como *Statistics for Environmental Engineers* de Mac Berthouex y Brown (1994)⁶⁴⁵ o *Environmental Engineer's Mathematics Handbook*, de Spellman y Whiting (2005).

En este momento puede hacerse una representación gráfica sintética de los componentes del fondo de conocimiento (primario y secundario) de la ingeniería ambiental sanitaria. Pueden incluirse los componentes (o entorno, según sea) como trasfondos de conocimiento ingenieril, tecnológico y científico, además del trasfondo formal matemático e informático.

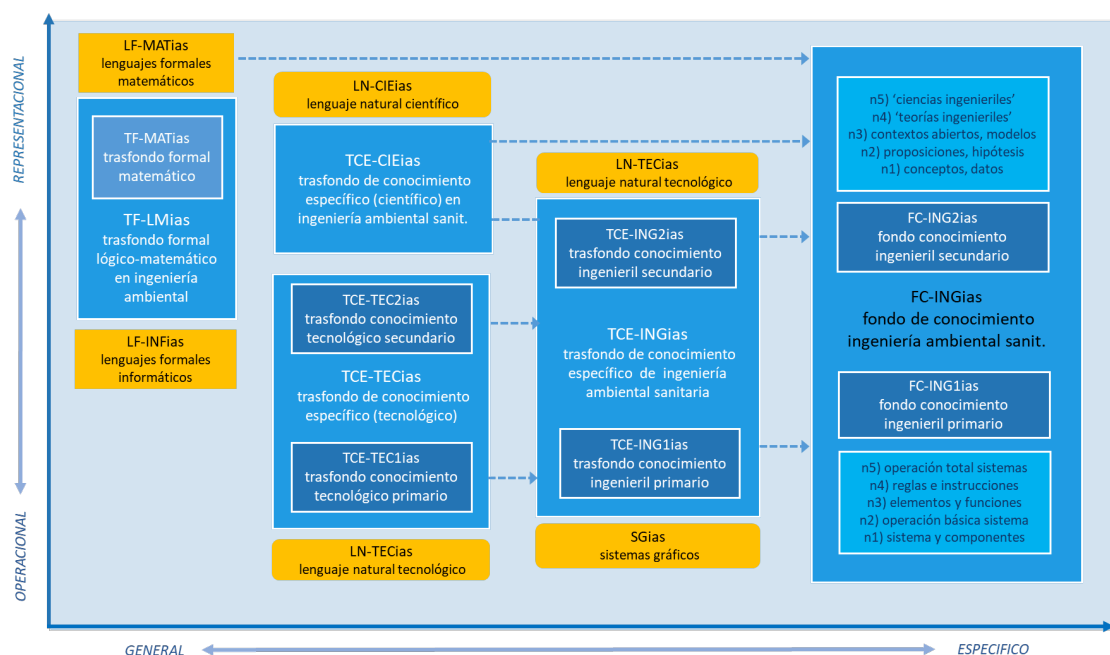


Fig. 7.3.1.b) Grupos de componentes (C) y entornos (E) del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria (SEPIas)

⁶⁴⁴ A partir del programa del Grado en Ingeniería Civil y Territorial (2019-20) de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.

⁶⁴⁵ Mac Berthouex, Paul y Brown, Linfield, C. (2005): *Statistics for Environmental Engineers*, Lewis Pub.

En esta representación se ordenan los grupos de componentes en el eje vertical de menor a mayor complejidad, mientras que en el eje horizontal se hace desde una mayor generalidad hacia términos más específicos, terminando precisamente con el fondo de conocimiento (primario y secundario) ingenieril. Además, se incluyen, como componentes-sistema (en tanto sistemas semióticos) diferentes lenguajes (naturales y formales) y sistemas gráficos ingenieriles, puesto son el puente (concreto-abstracto) imprescindible entre la comunidad profesional ingenieril, como componente esencial de los sistemas semióticos, y el sistema cultural epistemológico. Así se sigue incidiendo en que los sistemas que configuran la cultura ingenieril están constituidos por esas entidades conceptuales abstractas intersubjetivas que captan, con el pensamiento, los individuos de la comunidad profesional ingenieril. A partir de todo lo anterior, puede representarse el conjunto de potenciales componentes de un sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria (*SEPias*) como:

$$C_SEPias = \langle LNias, LFias, SGias, FC^{1-5}\text{-}ING1ias, FC^{1-5}\text{-}ING2ias, TCE^{1-5}\text{-}ING1ias, \\ TCE^{1-5}\text{-}ING2ias, TCE^{1-5}\text{-}TEC1ias, TCE^{1-5}\text{-}TEC2ias, TCE^{1-5}\text{-}CIEias, \\ TF^n\text{-}MATias \rangle$$

donde,

LNias : componentes-sistema del lenguaje natural en ingeniería ambiental sanitaria;

LFias : componentes-sistema de lenguaje formal en ingeniería ambiental sanitaria;

SGias : componentes-sistema de sistema gráfico en ingeniería ambiental sanitaria;

FC¹⁻⁵-ING1ias : componentes de nivel epistémico (1-5) del fondo de conocimiento ingenieril primario de ingeniería ambiental sanitaria;

FC¹⁻⁵-ING2ias : componentes de nivel epistémico (1-5) del fondo de conocimiento ingenieril secundario de ingeniería ambiental sanitaria;

TCE¹⁻⁵-ING1ias : componentes de nivel epistémico (1-5) del trasfondo de conocimiento específico ingenieril primario (excluidos *FC-ING1ias*) de ingeniería ambiental sanitaria;

TCE¹⁻⁵-ING2ias : componentes de nivel epistémico (1-5) del trasfondo de conocimiento específico ingenieril secundario (excluidos *FC-ING2ias*) de ingeniería ambiental sanitaria;

TCE¹⁻⁵-TEC1ias : componentes de nivel epistémico (1-5) del trasfondo de conocimiento específico tecnológico primario (excluidos *TCE-ING1*) de ingeniería ambiental sanitaria;

TCE¹⁻⁵-TEC2ias : componentes de nivel epistémico (1-5) del trasfondo de conocimiento específico tecnológico secundario (excluidos *TCE-ING2*) de ingeniería ambiental sanitaria;

TCE¹⁻⁵-CIEias : componentes de nivel epistémico (1-5) del trasfondo de conocimiento específico científico de ingeniería ambiental sanitaria;

TFⁿ-MATias : componentes de 'n' niveles epistémicos del trasfondo formal matemático de ingeniería ambiental sanitaria.

Este sería un conjunto de los diferentes componentes que pueden formar el sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria. Bien entendido que los componentes más importantes, junto con los sistemas semióticos, son el grupo de los componentes de fondo de conocimiento ingenieril (*FC-INGias*), tanto primario como secundario. Por otra parte, como se observó, los elementos que se agrupan como trasfondo formal o trasfondo de conocimiento específico pueden incluir tanto componentes como incluso entorno, junto a otros diferentes entornos (E).

7.3.1.2 Entornos (E) del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria

Se entiende que los entornos del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria (E_SEPIas) pueden ser, en primera instancia, todos aquellos elementos del apartado anterior, de componentes potenciales, que finalmente no hayan sido incorporados como componentes en la precisa definición del sistema epistemológico de la ingeniería ambiental sanitaria⁶⁴⁶. En todo caso, parece normal que pueden aparecer como entorno de este sistema diversos elementos tanto del trasfondo formal lógico-matemático (TF-LM), como del trasfondo de conocimiento específico científico (TCE-CIE) y del específico tecnológico (TCE-TEC).

Además, se consideran por definición⁶⁴⁷ sistemas de entorno del sistema epistemológico al resto de sistemas conceptuales (metodológico⁶⁴⁸, axiológico y ético), al sistema óptico material ($SONias$) y a los sistemas praxiológicos. De modo que el entorno del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria (E_SEPIas) podría representarse como:

$$E_SEPIas = \langle \text{TF-LM, TCE-CIE, TCE-TEC1, TCE-TEC2, TCE-ING1, TCE-ING2,} \\ \text{SONias, SMEias, SAXias, SETias, SPRAias} \rangle$$

donde,

TF-LM : elementos de entorno (no componentes) del trasfondo formal lógico matemático de ingeniería ambiental sanitaria;

TCE-CIE : elementos de entorno (no componentes) del trasfondo de conocimiento específico científico de ingeniería ambiental sanitaria;

TCE-TEC1 : elementos de entorno (no componentes) del trasfondo de conocimiento específico tecnológico primario de la ingeniería ambiental sanitaria;

TCE-TEC2 : elementos de entorno (no componentes) del trasfondo de conocimiento específico tecnológico secundario de la ingeniería ambiental sanitaria;

TCE-ING1 : elementos de entorno (no componentes) del trasfondo de conocimiento específico ingenieril primario de la ingeniería ambiental sanitaria;

TCE-ING2 : elementos de entorno (no componentes) del trasfondo de conocimiento específico ingenieril secundario de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SONias$: sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SMEias$: sistema cultural metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SAXias$: sistema cultural axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SETias$: sistema cultural ético de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SPRAias$: sistemas funcionales praxiológicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

7.3.1.3 Estructura del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria

Una vez definidos los componentes y entorno del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria, puede pasarse a considerar su estructura (S_SEPIas), tanto la endoestructura (C-C) como la exoestructura (C-E). En todo caso, las relaciones que se producen son de información, tanto relaciones informativas estructurales (o sintácticas), como semánticas, y relaciones informativas pragmáticas.

⁶⁴⁶ Esta diferente consideración, para un elemento dado, bien como componente (C) o bien como entorno (E) del sistema epistémico puede deberse a distintos motivos como por ejemplo: el grado de especificidad (ámbito territorial) en que se analice la concreta ingeniería, o el período temporal en que se esté analizando (lo que pone de manifiesto la historicidad de los sistemas tecnológicos ingenieriles).

⁶⁴⁷ Cuando dos o más sistemas forman parte de un sistema complejo, se entiende que cada uno de esos sistemas es necesariamente entorno (E) del resto de los sistemas que componen ese sistema complejo.

⁶⁴⁸ Ya se ha señalado la estrecha relación entre los sistemas epistémico y metodológico ingenieriles.

Las relaciones informativas sintácticas se dan entre todos los componentes. Tanto entre grupos de componentes, como dentro de un mismo grupo, entre los diferentes niveles epistemológicos que se han identificado; así como entre los componentes y entorno. Estas relaciones se encuentran tanto la endoestructura como la exoestructura del sistema epistémico ingenieril. Pero se verifican especialmente para los componentes a través de los distintos niveles de complejidad epistemológica, y entre los componentes de niveles equivalentes de complejidad epistemológica entre diferentes tipos de conocimiento (diferentes tipos de trasfondos y fondo de conocimiento ingenieril)

Por otra parte, están las relaciones de información pragmáticas, esencialmente de tipo descriptivo o representativo, que son –por así decirlo– la marca distintiva del sistema epistemológico. Esta información pragmática descriptiva o representativa conecta a la comunidad profesional ingenieril (COPIas), a través de los tres grupos de sistemas semióticos identificados (lenguaje natural, lenguaje formal y gráfico), con el sistema conceptual epistémico. Por decirlo con una expresión gráfica, la comunidad profesional ingenieril introduce y extrae información descriptiva (y también en casos práctica) del sistema conceptual epistémico, que funciona como un reservorio dinámico de todo el conocimiento de la ingeniería ambiental sanitaria.

7.3.2 Métodos: sistema metodológico de ingeniería ambiental sanitaria (SMEias)

El sistema de la metodología es otro de los cuatro grandes representantes de lo que estoy denominando como ‘cultura ingenieril’, como conjunto de los sistemas (conceptuales) de la ingeniería ambiental sanitaria. A diferencia del sistema epistémico, que es tan específico que viene representando el cuerpo de conocimientos de una determinada especialidad ingenieril, el sistema metodológico es más genérico.

Los métodos están relacionados con el conocimiento (sistema epistémico) que se tiene del mundo y sobre cómo proceder para transformarlo. Los métodos serían instrucciones sobre segmentos de procesos, que pueden incorporarse en diferentes procesos y aún en diferentes momentos de los mismos. Los métodos serían, de un modo gráfico, la ‘caja de herramientas’ conceptuales de la ingeniería. En esta caja tendremos herramientas generales y polivalentes – lo que se considera un valor positivo– y también herramientas muy específicas adecuadas a las concretas necesidades de una ingeniería dada, como la ingeniería ambiental sanitaria.

Como se ha expuesto en el modelo general, los métodos, en tanto componentes del sistema conceptual metodológico, pueden describirse tanto como componentes sencillos, como también como componentes-sistema. Y en todo caso, más allá de los otros componentes, están inmersos en un entorno (E), y mantienen relaciones tanto entre sí (C-C) como con su entorno (C-E), que definen conjuntamente una estructura (S) característica del sistema. También se ha presentado una cierta organización de los diferentes métodos en relación con los cuatro grupos de funciones praxiológicas ingenieriles: académico-docente, de cambio (I+D+i), productiva, y de gestión.

Entonces, para identificar los elementos del sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria (SMEias), voy a tener en cuenta los tipos de métodos en relación con los sistemas praxiológicos (comunes a las ingenierías), pero especificándolos –en la medida de lo posible– para la ingeniería ambiental sanitaria a través de las necesidades metodológicas de sus cinco sistemas técnicos característicos. Siguiendo como en los apartados anteriores, voy a considerar los componentes (C), el entorno (E) y la estructura (S) del sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria (SMEias).

7.3.2.1 Componentes (C) sistema metodológico de ingeniería ambiental (C_SMEias)

Como en el caso anterior, por tratarse de un sistema (conceptual) cultural, los primeros componentes a los que voy a hacer referencia son los sistemas semióticos, como puentes entre los individuos que componen las comunidades profesionales ingenieriles (COPIas) y el sistema metodológico. Menciono los sistemas semióticos más importantes: lenguaje natural en ingeniería ambiental sanitaria (*LNias*); lenguajes formales, especialmente los lenguajes formales matemáticos (*LF-MATias*) y los lenguajes informáticos (*LF-INFias*); así como los sistemas gráficos, tanto los icónicos (*SG-ICOias*) como los simbólicos (*SG-SIMias*), que adquieren en este sistema una gran importancia, en cuestiones nodulares para la ingeniería como el diseño o la representación gráfica.

Ahora, para identificar los métodos como componentes característicos del sistema conceptual metodológico, sigo las cuatro grandes funciones praxiológicas de la ingeniería. De estas cuatro funciones praxiológicas, hay dos que son más genéricas (la académico-docente o formativa, y la de gestión y control) y que están compartidas en gran medida en el nivel de tecnologías y en el de las tecnologías físicas o ingenierías. En cambio, las otras dos funciones praxiológicas (de cambio, y productiva) tienen desarrollos más específicos, que dependen del tipo de ingeniería, como es el caso de la ingeniería ambiental sanitaria donde esta especificidad se pone de manifiesto en sus sistemas técnicos (abastecimiento de aguas, saneamiento y depuración, drenaje urbano, gestión de residuos sólidos urbanos, y control y reducción de contaminación del aire urbano).

Esto se observa en la representación gráfica de componentes del sistema, donde se diferencian estos dos conjuntos. Los métodos se han distribuido conforme a los ejes: el horizontal que va de métodos más generales a más específicos, y el vertical que va de métodos cuyo objeto va desde niveles ónticos más bajos (artefactos y sistemas artefácticos) hasta el del complejo institucional.

En el área de la función praxiológica de formación se incluyen en primer lugar al conjunto de métodos de conservación y gestión de la documentación (MF-CONias). Son métodos muy generales, que aplica la comunidad profesional ingenieril de ingeniería ambiental sanitaria (COPIas) de técnicas documentales e informáticas, operando con artefactos informáticos (ARTF⁴⁻⁵INF) mediante el uso de lenguajes formales informáticos de programación (LF-INFpro) y más específicamente de lenguajes informáticos de marcado (LF-INFmar). Su finalidad es conservar y gestionar la información pragmática (descriptiva, práctica y valorativa) que maneja la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria a través de los sistemas conceptuales. En última instancia, las bases físicas artefácticas a que remiten estos métodos de conservación y gestión documental serían principalmente: bibliotecas, archivos y centros de documentación, museos, y redes documentales (analógicas y digitales). En gran medida, estos métodos están vinculados estrechamente a la función formativa académico-docente, por lo que se ha incluido en esta área.

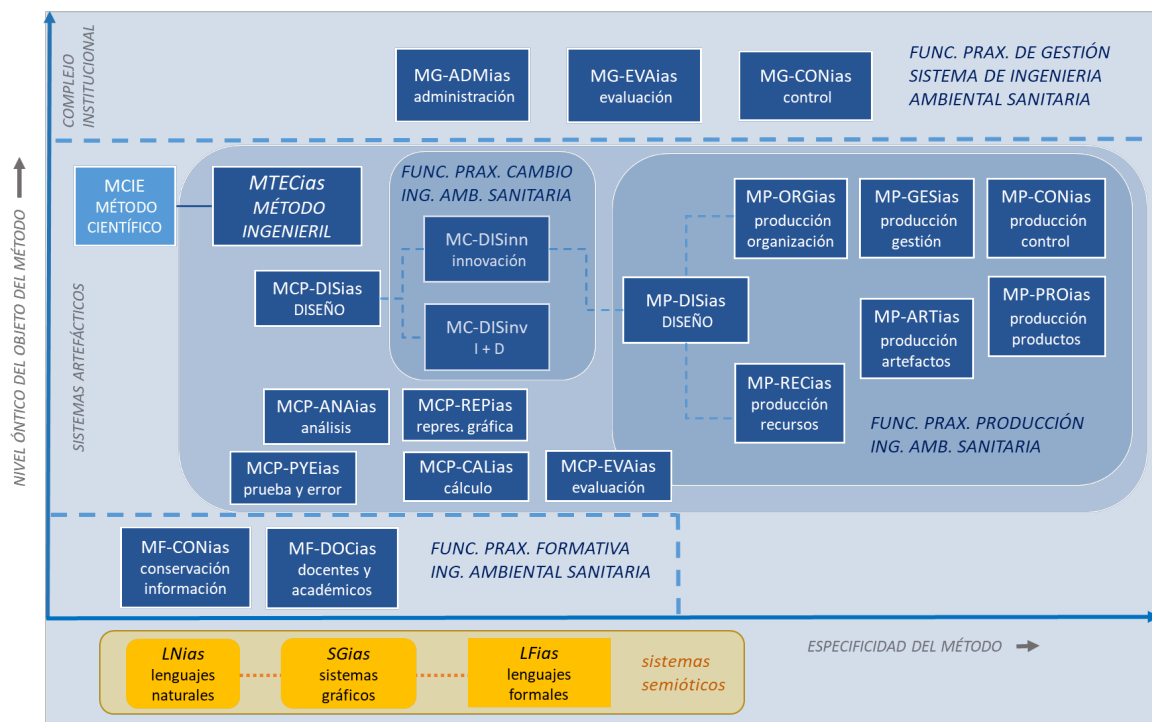


Fig. 7.3.2.a) Componentes (métodos), según funciones praxiológicas, del sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria (C_SMEias)

El otro grupo de componentes de la función praxiológica formativa incluye los métodos docentes y académicos (MF-DOCias) destinados a la transmisión del conjunto de la cultura ingenieril con el objeto de incrementar y mantener la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria (COPIas), mediante la incorporación individualizada a esa comunidad profesional. Esa incorporación individualizada se produce en el marco del complejo institucional académico-docente, a través de distintos espacios –que a su vez remitirán a métodos docentes más concretos– como son los que se desarrollan, en las instalaciones (aulas, laboratorios y talleres) de las escuelas técnicas de ingeniería civil y ambiental. Estos métodos están considerados y estudiados detalladamente desde la pedagogía ingenieril.

Siguiendo con los métodos con el orden de los sistemas funcionales praxiológicos, se pasaría al de cambio (I+D+i) y de producción. Aquí he incluido lo que podría entenderse, en un sentido amplio, como ‘método tecnológico ingenieril’ aplicado a la ingeniería ambiental sanitaria’ (MTECias), que reuniría los métodos aplicados a estas funciones praxiológicas en relación con los cinco más importantes sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

En este apartado distingo, a su vez, entre métodos más frecuentes en la función de cambio ingenieril (MCias), de los métodos característicos de las funciones praxiológicas de producción ingenieril (MPIas), e incluyo un grupo de métodos compartidos (MCPias). Entre estos últimos estarían los métodos de: prueba y error (MCP-PYEias), como método menos formalizado; análisis (MCP-ANAIas); cálculo (MCP-CALias); representación gráfica (MCP-REPIas); evaluación (MCP-EVAias); y, de forma más amplia, el diseño (MCP-DISias).

Entre los métodos de análisis empleados en ingeniería ambiental sanitaria (MCP-ANAIas) podrían mencionarse: análisis de factibilidad (de innovación, de proyecto o de inversión); análisis de coste-beneficio (ACB) de inversiones públicas y privadas en infraestructuras y servicios; análisis de alternativas tecnológicas y de mejores tecnologías disponibles (MTDs); análisis de riesgos (AR), orientados a riesgos para la salud pública, los

ecosistemas y los bienes; o análisis de ciclo de vida (ACV) de producto o servicio, en relación con el consumo de energía y producción de residuos.

A continuación estarían, como métodos más formalizados, los de cálculo y los de representación gráfica. En los métodos de cálculo (MCP-CALias) se combinan conocimientos ingenieriles y lenguajes formales (LF), tanto informáticos (LF-INFias) como matemáticos (LF-MATias). Entre los métodos de cálculo en la ingeniería ambiental sanitaria pueden señalarse: cálculo de balance de recursos hídricos; cálculo de demanda de agua para abastecimiento; cálculo de generación de aguas residuales y residuos sólidos urbanos; cálculo hidráulico; cálculo de estructuras; cálculo y dimensionamiento de plantas de tratamiento y reactores; o cálculo de huella ambiental (ecológica, hídrica, de carbono...).

De modo similar, en los métodos de representación gráfica se combinan conocimientos ingenieriles con sistemas semióticos gráficos, singularmente simbólicos (*LG-SIMias*). En la ingeniería ambiental sanitaria pueden encontrarse métodos de representación gráfica (MCP-REPIas) aplicados a: definición formal de redes (abastecimiento, saneamiento, drenaje) y plantas (tratamiento, depuración...); diagramas y flujogramas; fotografía temática y fotogrametría; o representación cartográfica básica y temática (hidrología superficial y subterránea, edafología y geología, vegetación...).

Serían, por su parte, ejemplos de métodos evaluativos en ingeniería ambiental sanitaria (MCP-EVAias): evaluación de alternativas tecnológicas; evaluación de alternativas de ubicación y trazado; o evaluación de impacto ambiental (EIA).

Para terminar con el grupo de métodos ingenieriles comunes a las funciones praxiológicas de cambio y producción ingenieril, se incluyen los métodos de diseño ingenieril aplicados a la ingeniería ambiental sanitaria (MCP-DISias). Serían un conjunto de operaciones fundamentadas en el conocimiento ingenieril, que proporcionan las bases para resolver un problema determinado mediante la elaboración de una solución: un modelo en la fase conceptual, o un tipo (prototipo o tipo específico) de sistema técnico en la fase de transformación material. Esto lleva a la división entre dos funciones diferenciables típicamente ingenieriles: la primera, que da cuenta del proceso de cambio ingenieril, con los métodos de diseño de cambio ingenieril (MC-DISias); y la segunda, la de producción ingenieril, con los métodos de diseño para la producción ingenieril (MP-DISias). En correspondencia con esto, en la figura puede advertirse cómo desde el componente agrupado MCP-DISias se abren dos vías.

Entre los métodos de diseño⁶⁴⁹ para el cambio ingenieril, considero por una parte los destinados a la investigación y desarrollo (MC-DISinv), que articulan el subsistema funcional praxiológico de investigación y desarrollo (I+D). Por otra parte, considero los métodos de diseño destinados a la innovación (MC-DISinn), que son los que articulan el subsistema funcional praxiológico de innovación.

Se observa en la representación que también se incluye (aunque diferenciado) el método científico (MCIE), puesto que puede llegarse a considerarse como un componente del sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria o, en todo caso como entorno del sistema, en relación con los procesos de cambio, como serían los del supersistema científico vinculados eventualmente a la I+D+i ingenieril.

La importancia de los métodos de diseño, también en la función praxiológica de producción ingenieril, se pone de manifiesto situando estos métodos de diseño productivo (MP-DISias) como punto de arranque (diseño de alternativas, diseño de prototipos, diseño de

⁶⁴⁹ Se entiende esta operación de diseño en un sentido amplio, por lo que incorporaría también métodos de laboratorio y campo auxiliares como: mediciones de campo, mediciones de parámetros, o calibración de equipos.

proyectos...) para los diversos métodos que pueden considerarse según las dos ramas en que se dividen los métodos productivos: i) métodos de la parte productiva material (transformadora) de la actividad ingenieril, mediante definición y ensamblaje de sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria; y ii) métodos de la parte de gestión del sistema técnico de servicios urbanos (agua, residuos o aire) implementado.

Los métodos de la parte productiva, que son probablemente los más específicos de todos, se encuentran en correspondencia con la lógica recurso-artefacto-producto (R-A-P) de producción ingenieril que se ha tratado en el subsistema óntico material (ii) artefáctico (*SON(ii)-ARTias*). También están en relación, por supuesto, con los cinco sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria. De esta forma, aunque se utilizan métodos de los tres enfoques productivos (recurso, artefacto o producto), los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental se orientan hacia el objetivo final de producción de servicios urbanos y ecosistémicos⁶⁵⁰.

Considerando de forma agregada los cinco sistemas técnicos principales de la ingeniería ambiental sanitaria puede establecerse el alcance de las tres familias de métodos productivos según la lógica de producción R-A-P. Los métodos de producción orientados al recurso (MP-RECias) vienen a emplearse en las entradas a los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria para: captación de los recursos hídricos; gestión de las aguas pluviales en escorrentía urbana; saneamiento de las aguas residuales producidas; y recogida selectiva de fracciones de residuos sólidos urbanos. Los métodos de producción orientados al artefacto en ingeniería ambiental sanitario (MP-ARTias) tienen su papel en la construcción de las infraestructuras de servicios urbanos (redes, equipos, instalaciones y plantas de tratamiento) que llevan a disponer de sistemas técnicos implementados operativos. Finalmente, los métodos orientados al producto (MP-PROias) tienen que ver con la operación y explotación de los sistemas técnicos implementados con el objeto de producir los bienes de los servicios urbanos y ecosistémicos identificados para la ingeniería ambiental sanitaria.

De forma transversal, las funciones praxiológicas productivas de la ingeniería ambiental sanitaria, en cualquiera de los segmentos de orientación productiva R-A-P que se ha señalado, cuentan con adecuados métodos de gestión⁶⁵¹ de la producción. Entre estos se cuentan: métodos de organización de la producción (MP-ORGias); métodos de gestión de la producción (MP-GESias), como la gestión por procesos; y métodos de control de la producción (MP-CONias), como los métodos de control de calidad de productos y servicios.

Para terminar, entre los métodos componentes del sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria estarían los del área de función praxiológica de gestión del sistema complejo ingenieril. Son, por consiguiente, métodos de un nivel alto del ciclo del proyecto (niveles de planes y programas), operados típicamente por niveles ónticos altos del complejo institucional, y responden a las necesidades generales tanto de los sistemas componentes como al conjunto del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria. Estos métodos de gestión de nivel alto serían de tres tipos: administrativos (MG-ADMias), como los de

⁶⁵⁰ En correspondencia con los cinco sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria (abastecimiento de aguas, saneamiento y depuración de residuales, gestión de escorrentía urbana, gestión de RSU, y control de calidad del aire urbano): disponibilidad de agua potable para la población; depuración de las aguas residuales para su incorporación al medio hídrico receptor; gestión de las aguas pluviales y escorrentía urbana; reciclaje, valorización y eliminación segura de las fracciones de residuos urbanos; y protección de salud pública en relación con la calidad del aire urbano.

⁶⁵¹ Como se va a ver, los métodos de gestión de la producción son métodos de gestión específicos, por lo que se ha optado por incluirlos en el área productiva y no en el más general área de gestión y control, puesto que el objeto de este último es la gestión y control de los diferentes sistemas componentes del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (sistema material óntico, sistemas semióticos, sistemas culturales epistémico, metodológico, axiológico y ético, y sistemas funcionales praxiológicos), así como del conjunto del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (*S²INGas*).

administración del agua o de la calidad ambiental; de evaluación (MG-EVAias), como la evaluación de políticas del agua y medio ambiente, o la evaluación ambiental estratégica (EAE) de planes y programas; y de control del agua y medio ambiente (MG-CONias).

A partir de lo anterior, puede representarse el conjunto de componentes potenciales del sistema conceptual metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria (C_SMEti), como:

$$C_SMEias = \langle LNias, LF-MATias, LF-INFias, SG-ICOias, SG-SIMias, MF-CONias, \\ MF-DOCias, MCP-PYEias, MCP-ANAIas, MCP-CALias, MCP-REPIas, \\ MCP-EVAias, MCP-DISias, MC-DISinv, MC-DISinn, MP-DISias, \\ MP-RECias, MP-ARTias, MP-PROias, MP-ORGias, MP-GESias, \\ MP-CONias, MG-ADMias, MG-EVAias, MG-CONias \rangle$$

donde,

LNias : componentes-sistema del lenguaje natural en ingeniería ambiental sanitaria;

LF-MATias : componentes-sistema de lenguaje formal matemático en ingeniería ambiental sanitaria;

LF-INFias : componentes-sistema de lenguaje formal informático en ingeniería ambiental sanitaria;

SG-ICOias : componentes-sistema de sistemas gráficos icónicos en ingeniería ambiental sanitaria;

SG-SIMias : componentes-sistema de sistemas gráficos simbólicos en ingeniería ambiental sanitaria;

MF-CONti : métodos de conservación y gestión documental en ingeniería ambiental sanitaria;

MF-DOCias : métodos formativos docentes-académicos en ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-PYEias : métodos (en cambio y producción) de prueba y error en ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-ANAIas : métodos (en cambio y producción) de análisis en ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-CALias : métodos (en cambio y producción) de cálculo en ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-REPIas : métodos (en cambio y producción) de representación en ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-EVAias : métodos (en cambio y producción) de evaluación en ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-DISias : métodos (en cambio y producción) de diseño ingenieril en ingeniería ambiental sanitaria;

MC-DISinv : métodos de diseño para investigación en ingeniería ambiental sanitaria;

MC-DISinn : métodos de diseño para innovación en ingeniería ambiental sanitaria;

MP-DISias : métodos de diseño para la producción en ingeniería ambiental sanitaria;

MP-RECias : métodos de producción orientados al recurso en ingeniería ambiental sanitaria;

MP-ARTias : métodos de producción orientados al artefacto en ingeniería ambiental sanitaria;

MP-PROias : métodos de producción orientados al producto (bienes o servicios) en ingeniería ambiental sanitaria;

MP-ORGias : métodos de organización de la producción en ingeniería ambiental sanitaria;

MP-GESias : métodos de gestión de la producción en ingeniería ambiental sanitaria;
 MP-CONias : métodos de control en la producción en ingeniería ambiental sanitaria;
 MG-ADMias : métodos de gestión para la administración de los sistemas y del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria;
 MG-EVAias : métodos de gestión para la evaluación (externa) de los sistemas y del sistema complejo de ingeniería ambiental sanitaria;
 MG-CONias : métodos de gestión para el control de los sistemas y del sistema complejo de ingeniería ambiental sanitaria.

7.3.2.2 Entorno (E) del sistema metodológico de ingeniería ambiental (E_SMEias)

De acuerdo con el modelo general, se consideran por definición sistemas de entorno del sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria (E_SMEias) a los otros sistemas culturales (epistémico, axiológico y ético), así como al sistema óntico material, y a los sistemas funcionales praxiológicos. En particular, se pone de manifiesto la proximidad como entorno, del sistema epistemológico. Puede señalarse también la importancia de considerar también como entorno al conjunto del método científico (MCIE). Además, puede incluirse como entorno al conjunto general de los métodos tecnológicos (MTEC) no específicamente ingenieriles.

De este modo, el entorno (E) del sistema metodológico ingenieril (E_SMEias) podría representarse como:

$$E_SMEias = < SEPIas, SAXias, SETias, SONias, SPRAias, MCIE, MTEC >$$

donde,

SEPIas : sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria;

SAXias : sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria;

SETias : sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria;

SONias : sistema óntico de la ingeniería ambiental sanitaria;

SPRAias : sistemas funcionales praxiológicos de la ingeniería ambiental sanitaria;

MCIE : método (general) científico;

MTEC : conjunto de métodos tecnológicos no incluidos en el sistema metodológico ingenieril.

7.3.2.3 Estructura (S) de sistema metodológico de ingeniería ambiental (S_SMEias)

Una vez definidos los componentes y entorno del sistema metodológico ingenieril, puede pasarse a considerar su estructura, tanto la endoestructura (C-C) como la exoestructura (C-E). Las relaciones que se producen son inmateriales, de información, y más concretamente relaciones informativas estructurales (o sintácticas) y relaciones informativas pragmáticas.

Las relaciones informativas estructurales se dan dentro y entre los grupos señalados de componentes, de acuerdo con la función ingenieril: formativa (F), de cambio y productiva (CP), de cambio (C), productiva (P) y de gestión (G). También en la endoestructura se señala la importancia de las relaciones entre los componentes de métodos de diseño: MCP-DISias, MC-DISinv, MC-DISinn y MP-DIS. Del mismo modo, en las relaciones de métodos componentes del área productiva ingenieril.

Por otra parte, se destacan las relaciones de información pragmáticas prácticas, que son esenciales para el sistema metodológico. Este tipo de información se establece a partir de las secuencias de los componentes internos de los distintos métodos y los lenguajes como sistemas semióticos. Esta información pragmática práctica conecta a la comunidad

profesional de la ingeniería ambiental sanitaria (COPIas), a través de los tres grupos de sistemas semióticos identificados (lenguaje natural, lenguaje formal y sistemas gráficos) con el sistema cultural metodológico, para articular las acciones de los sistemas praxiológicos funcionales.

7.3.3 Valores: sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria (*SAXias*)

El sistema cultural axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria (*SAXias*) es el tercer sistema componente de lo que estoy llamando la cultura inmaterial ingenieril. Como se ha visto en los desarrollos antecedentes, es un sistema que se encuentra próximo al sistema ético, aunque –a diferencia de la ética– la axiología ha sido muy poco considerada tanto en el ámbito general de la tecnología como en el ámbito más específico de las tecnologías ingenieriles. Sin embargo, como se ha expuesto en el modelo de elucidación de tecnologías ingenieriles, al considerar la axiología como un sistema cultural se facilita una visión más profunda de la ingeniería como actividad intencionalmente orientada y, en mi opinión, un mejor conocimiento tanto de las implicaciones de la axiología como de su papel en relación con los otros sistemas y, muy especialmente, de la importancia de la axiología en la orientación de los métodos, procesos y resultados de las funciones praxiológicas de la ingeniería. De este modo, se pone de manifiesto la relevancia de la axiología en lo que podría denominarse el ‘cuadro de mandos’ de orientación de la ingeniería. En este caso, de la ingeniería ambiental sanitaria. Para analizar este sistema cultural, como en el resto de los sistemas de este tipo, procedo de acuerdo al modelo sistemista bungeano CES, a establecer sus componentes (C), entorno (E) y estructura (S) definida por las relaciones endo y exoestructurales.

7.3.3.1 Componentes (C) de sistema axiológico de ingeniería ambiental (*C_SAXias*)

Como se ha expuesto para el modelo de ingeniería, pueden considerarse cuatro tipos de componentes para un sistema axiológico ingenieril. Además de los sistemas semióticos puente (concreto-abstracto) entre la actividad y las mentes de los componentes de la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria (COPIas), se tendrían los componentes más característicamente axiológicos: (i) valores (internos); (ii) objetivos (internos); y (iii) normas (internas). Esa condición de ‘internos’ apela directamente a la posibilidad de considerarlos como componentes (endoaxiología), mientras que sus correlativos (valores, objetivos y normas) externos van a formar parte del entorno del sistema (exoaxiología).

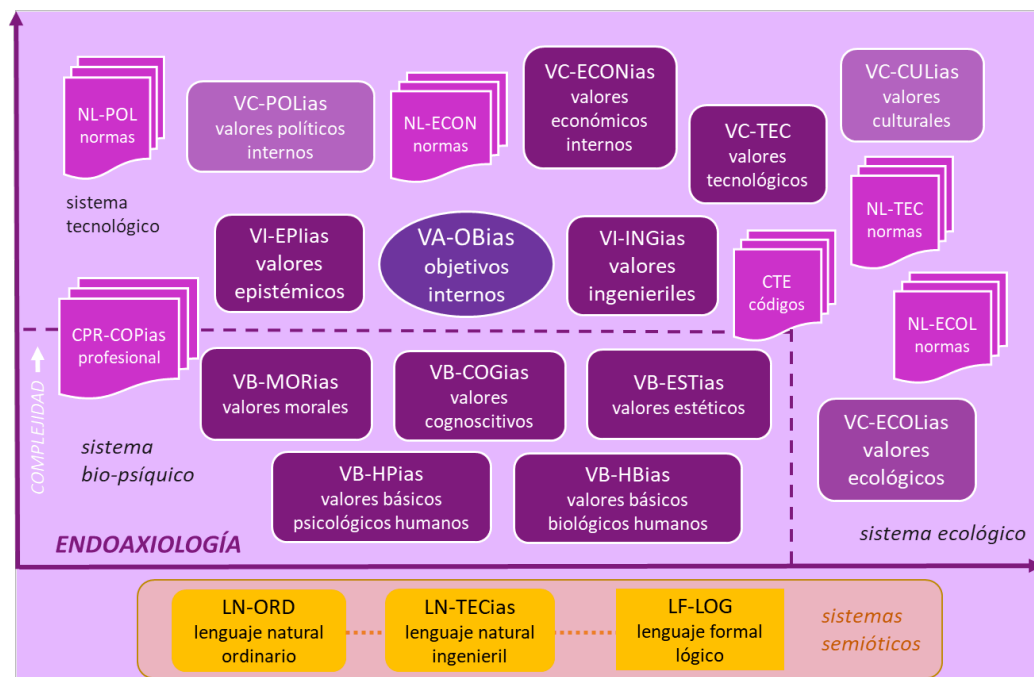


Fig. 7.3.3.a) Componentes del sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria (C_SAXias)

Al representar los componentes del sistema axiológico (objetivos, valores y normas) se hace según su relación con el supersistema social: área del sistema básico de los seres humanos (sistema bio-psíquico); que fundamenta a su vez el área del sistema tecnológico ingenieril (en el que se incluyen los valores interiorizados procedentes del supersistema social (sistema político, económico y cultural, y del supersistema ecológico).

Respecto a los sistemas semióticos, puede señalarse que en axiología ingenieril se emplea –en comparación con los sistemas epistémico y metodológico– un repertorio de lenguajes que se limita prácticamente al lenguaje natural, ordinario ampliado con elementos del lenguaje natural ingenieril, y en determinadas ocasiones, al lenguaje formal lógico (LF-LOG).

En la parte inferior de la representación gráfica del sistema axiológico, ya por encima de los sistemas semióticos, se sitúa el conjunto de ‘valores primarios internos’ o valores internos básicos, puesto que la ingeniería ambiental sanitaria, como actividad humana (intensiva en conocimiento) debe contemplarse desde la agencia humana, en la esfera del sistema bio-psíquico bungeano, donde residen una serie de valores básicos (VB): humanos biológicos (VB-HBIas) como salud, residencia, bienestar, comodidad o longevidad; humanos psicológicos (VB-HPIas) como influencia o consideración; morales internos (VB-MORintias); cognoscitivos (VB-COGias) como verdad, claridad, precisión o coherencia; y estéticos (VB-ESTias) como belleza o armonía. Se trata de valores de bajo a medio nivel de complejidad, que se encuentran en lo básico de la ingeniería en tanto actividad humana, de modo que es difícil concebir la actividad ingenieril sin que ese tipo de valores estén en juego.

Estos valores, por supuesto, son valores que la ingeniería ambiental sanitaria comparte con el resto de las ingenierías, y probablemente también con todas las tecnologías, por lo que me han servido como ejemplo algunos de los que ya se han presentado en el modelo general de ingeniería. Sin embargo, es muy destacable que precisamente los objetivos generales de la ingeniería ambiental sanitaria estén orientados a la promoción y salvaguarda de valores humanos básicos biológicos (VB-HB) como son la provisión de agua para bebida, higiene y servicios domésticos, así como la promoción de la salud y de la calidad ambiental mediante la

reducción y eliminación de contaminantes en el medio urbano (aire, aguas y suelo). Esto va a ponerse de manifiesto en el despliegue de valores, objetivos y normas correspondientes y característicos de cada uno de los cinco sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

Pero antes, debe analizarse el complejo de valores, objetivos y normas que configuran el dominio axiológico correspondiente al conjunto, como sistema tecnológico, de la ingeniería ambiental sanitaria.

El complejo de componentes axiológicos que, adicionalmente a los valores básicos, configuran el espacio de componentes de la ingeniería ambiental sanitario está formado por tres tipos distintos (valores, objetivos y normas). Esta estructura de valores está definida por valores internos de tipo epistémico y valores ingenieriles. Los valores epistémicos de la ingeniería ambiental sanitaria (VI-EPIas) son valores relativos al modo en que se enfrenta el conocimiento no sólo del sistema epistemológico, sino del resto de los sistemas conceptuales (metodológico y ético), como son la originalidad, la precisión, el cuidado debido, la verificabilidad, el poder explicativo, el poder predictivo y la economía racional. Son valores propios, pero no específicos, de la ingeniería ambiental sanitaria en tanto actividad intensiva en conocimiento.

Los valores internos ingenieriles de la ingeniería ambiental sanitaria (VI-INGias) son aquellos procedentes de la ingeniería como actividad tecnológica, en donde se destacan valores que se considera propios de la tecnología ingenieril en sentido muy estricto, en donde se excluirían valores procedentes del supersistema social (político, económico o cultural) o incluso del supersistema ecológico. Entre estos valores estarían, por ejemplo: factibilidad o realizabilidad, fiabilidad, eficacia, eficiencia, eficiencia técnica, innovación, usabilidad, velocidad, o capacidad. Como en el caso anterior, en la mayor parte se trata de valores propios, pero no específicos, de la ingeniería ambiental sanitaria.

Finalmente, entre los valores como componentes, estarían los valores contextuales (VC) internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria. Serían aquellos valores que, perteneciendo al sistema tecnológico (excluido el sistema tecnológico ingenieril), o al dominio del supersistema social (como son los sistemas cultural, económico y político), o al dominio relativo a los sistemas naturales (ecosistemas), estarían interiorizados en la ingeniería ambiental sanitaria. Se trataría de valores contextualizados: tecnológicos no ingenieriles (VC-TECias), culturales (VC-CULias), económicos (VC-ECONias), políticos (VC-POLias), sociales (VC-SOCias) y ecológicos (VC-ECOLias). Al describir los valores de la ingeniería ambiental sanitaria habrá algunos más generales (compartidos con otras ingenierías) y otros más específicos de la ingeniería ambiental sanitaria. La complejidad de estos valores suele ser media o alta, puesto que, como valores incorporados, suman la complejidad propia original tanto con las referencias al contexto de procedencia (sistema a que están adscritos) como al proceso de internalización en la ingeniería.

Entre los valores contextualizados tecnológicos (VC-TECias) pueden destacarse, procedentes de las biotecnologías y tecnologías sociales valores como: salud pública y calidad ambiental, desarrollo sostenible, o sostenibilidad.

De entre los valores contextualizados culturales de la ingeniería ambiental sanitaria (VC-CULias) podrían mencionarse: conservación del patrimonio cultural, o respeto por culturas tradicionales.

Como valores contextualizados económicos de la ingeniería ambiental sanitaria (VC-ECONias) se tendrían desde algunos más generales (utilidad económica, eficiencia económica, ratio coste-beneficio, o coste-efectividad) hasta más específicos (internalización de costes ambientales, equilibrio de ingresos-gastos en servicios públicos urbanos y ambientales).

Entre los valores contextualizados políticos en la ingeniería ambiental sanitaria (VC-POLias) pueden señalarse como ejemplos: participación pública ampliada, veto y codecisión de poblaciones indígenas. Algunos de los valores políticos se encuentran en la proximidad de valores contextualizados sociales de la ingeniería ambiental sanitaria (VC-SOCias) como: sostenibilidad, integración y equidad, o seguridad de las poblaciones.

Finalmente, entre los valores contextualizados de la ingeniería ambiental sanitaria estarían los correspondientes al supersistema ecológico (VC-ECOLias) como: biodiversidad, equilibrio ecosistémico, calidad ambiental (calidad del aire, calidad del agua, calidad del suelo, calidad paisajística), sostenibilidad ambiental, conservación del patrimonio natural o cambio climático.

Además de los distintos tipos de valores, el sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria está integrado por otros componentes: objetivos y normas. Los valores-objetivo u objetivos de la ingeniería ambiental sanitaria (VA-OBias) serían un conjunto organizado de valores (de una o varias clases) diseñado al efecto de orientar la acción y resultado pretendido por la ingeniería ambiental sanitaria. Para ello, debe tenerse en cuenta cuáles son los objetivos (valores-objetivo) de los cinco sistemas técnicos más importantes de la ingeniería ambiental sanitaria (abastecimiento de aguas, saneamiento y depuración de residuales, gestión de escorrentía urbana, gestión de RSU, y control de calidad del aire urbano), que podrían definirse como: (i) disponibilidad de agua potable para la población, lo que incluye los términos de garantía de abastecimiento y calidad de suministro; (ii) depuración de las aguas residuales para su incorporación al medio hídrico receptor, lo que presupone también los valores de protección del medio hídrico y restauración ecológico-ambiental; (iii) gestión de las aguas pluviales y escorrentía urbana, que sugiere valores como la protección frente a fenómenos climáticos y resiliencia urbana; (iv) reciclaje, valorización y eliminación segura de las fracciones de residuos urbanos; y (v) protección de la salud pública y los bienes en relación con la calidad del aire urbano.

Para concluir con los conjuntos de componentes del sistema axiológico hay que tratar sobre las normas y códigos, como conjunto de valores interrelacionados de carácter prescriptivo, diferenciando entre aquellas exigibles, o de obligado cumplimiento, y las orientativas o voluntarias. En este grupo se incluyen como componentes aquellos códigos que pueden tener relevancia práctica, y por tanto se consideran los códigos profesionales (CPR-COPias), y los internos de la propia tecnología ingenieril o ingeniería (CTEias), como códigos o instrucciones técnicas (sobre los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria) de diferentes rangos.

Además, se consideran, en la medida en que aparecen como componentes determinados valores contextuales (VC), a los que sustentan las normas legales (NL) de interrelación (administrativa y jurídica) con los sistemas correspondientes: tecnológico (NL-TECias), cultural (NL-CULias), económico (NL-ECONias), político (NL-POLias) y ecológico (NL-ECOLias).

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se entiende que puede representarse el conjunto de componentes (C) del sistema (conceptual) cultural axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria (C_SAXias), como:

$$C_SAXias = < LN-ORD, LN-TECias, LF-LOG, VB-HBias, VB-HPias, VB-MORias, VB-COGias, VB-ESTias, VI-EPIas, VI-INGias, VC-TECias, VC-CULias, VC-ECONias, VC-POLias, VC-ECOLias, VA-OBias, CPR-COPias, CTEias, NL-TECias, NL-CULias, NL-ECONias, NL-POLias, NL-ECOLias >$$

donde,

LN-ORD : componente-sistema de lenguaje natural ordinario;
LN-TECias : componente-sistema de lenguaje natural técnico de la ingeniería ambiental sanitaria;
LF-LOG : componente-sistema de lenguaje formal lógico;
VB-HBias : valores básicos humanos biológicos en ingeniería ambiental sanitaria;
VB-HPias : valores básicos humanos psicológicos en ingeniería ambiental sanitaria;
VB-MORias : valores básicos morales en actividad de ingeniería ambiental sanitaria;
VB-COGias : valores básicos cognitivos en actividad de ingeniería ambiental sanitaria;
VB-ESTias : valores básicos estéticos en la ingeniería ambiental sanitaria;
VI-EPIias : valores internos epistemológicos (también referidos al conocimiento de los sistemas ontológico, epistémico, metodológico, ético y praxiológicos) de la ingeniería ambiental sanitaria;
VI-INGias : valores internos, ingenieriles, en la ingeniería ambiental sanitaria;
VC-TECias : valores contextuales, del sistema tecnológico no ingenieril, internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
VC-CULias : valores contextuales, del sistema cultural, internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
VC-ECONias : valores contextuales, del sistema económico, internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
VC-POLias : valores contextuales, del sistema político, internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
VC-ECOias : valores contextuales, del sistema ecológico, internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
VA-OBias : objetivos, como valores-objetivo articulados, tanto del sistema complejo ingenieril como de los sistemas técnicos propios de la ingeniería ambiental sanitaria;
CPR-COPias : códigos deontológicos de la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria;
CTEias : códigos y normas técnicas ingenieriles de aplicación a la ingeniería ambiental sanitaria;
NL-TECias : normas legales pertinentes del sistema tecnológico no ingenieril;
NL-CULias : normas legales pertinentes del sistema cultural;
NL-ECONias : normas legales pertinentes del sistema económico;
NL-POLias : normas legales pertinentes del sistema político;
NL-ECOLias : normas legales relativas al sistema ecológico.

7.3.3.2 Entorno (E) del sistema axiológico de ingeniería ambiental (*E_SAXias*)

En primera instancia, en el entorno más inmediato del sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria sería el sistema ético (*SETias*), además del resto de los sistemas del complejo ingenieril: sistema óntico (*SONias*), sistema epistémico (*SEPias*), sistema metodológico (*SMEias*), y sistemas funcionales praxiológicos (*SPRAias*). Si bien hay que resaltar que el sistema axiológico ingenieril estaría en un mismo plano y compartiendo naturaleza (conceptual) con el sistema epistemológico y el sistema metodológico; con una proximidad que llega hasta el punto de que el estatus de ‘interno’ para un valor se debe en última instancia a que ese valor está presente en el diseño y procesos tecnológicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

Además, al seleccionar los componentes (C) del sistema axiológico se han dejado fuera un conjunto de elementos del contexto que no están internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria, y que forman parte de sistemas con un nivel sistémico diferente. Entonces, los

valores exógenos o externos, que han quedado fuera de la nómina de componentes del sistema axiológico, formarán parte de alguno de esos sistemas (de nivel n+1), como ocurre con: el sistema económico (V-ECON), con la distribución de costes y beneficios; el sistema cultural (V-CUL), incluso su subsistema tecnológico no ingenieril (V-TEC), con la ‘compatibilidad de criterios compartidos’; el sistema político (V-POL), con valores como la democracia, justicia, inclusividad, consentimiento o libertades civiles; o tomados incluso como supersistema social (V-SOC), con valores como la utilidad social, la solidaridad, la felicidad o la privacidad. Además de los cuales, puede incluirse los valores externos del sistema ecológico (V-ECOL).

Todos estos elementos de entorno pueden situarse junto a los componentes del sistema axiológico, para configurar el espacio propio del sistema (endoaxiológico) junto al espacio exterior de entorno (exoaxiológico), como puede observarse en la representación adjunta.

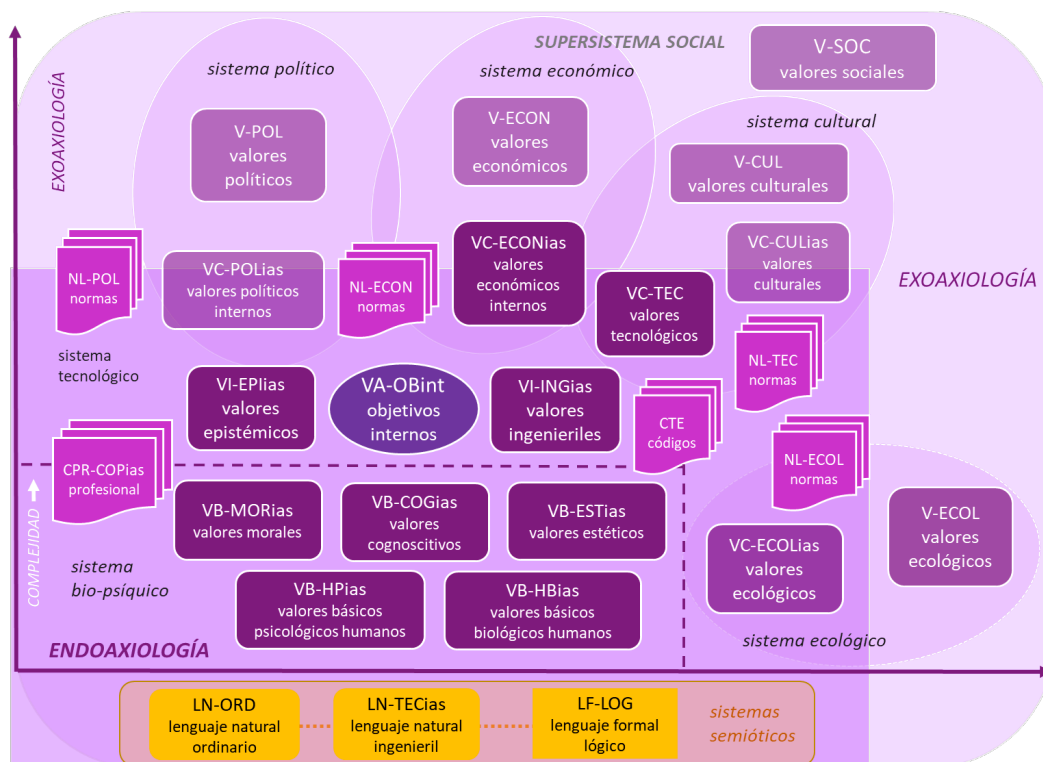


Fig. 7.3.3.b) Componentes y entorno (sistemas) del sistema axiológico de ingeniería ambiental sanitaria

De este modo, el entorno (E) del sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria (E_SAXias) podría representarse como:

$$E_SAXias = < SETias, SEPIas, SMEias, SONias, SPRAias, V-TEC, V-CUL, V-ECON, V-POL, V-SOC, V-ECOL >$$

donde:

SETias : sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria;

SEPIas : sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria;

SMEias : sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria;

SONias : sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria;

SPRAias : sistemas funcionales praxiológicos de la ingeniería ambiental sanitaria;

V-TEC : valores tecnológicos (no ingenieriles) no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;

V-CUL : valores del sistema cultural no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
V-ECON : valores del sistema económico no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
V-POL : valores del sistema político no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
V-SOC : valores del supersistema social no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
V-ECOL : valores asignados al supersistema ecológico no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria.

7.3.3.3 Estructura (S) de sistema axiológico de ingeniería ambiental (*S_SAXias*)

Como en los sistemas anteriores, voy a considerar en primer lugar las relaciones endoestructurales, que se dan entre componentes (C-C), y posteriormente las relaciones exoestructurales, que se dan entre los componentes y el entorno (C-E). Estamos, dada la naturaleza abstracta del sistema axiológico, ante relaciones informativas. Y entre éstas, se considera que la información pragmática valorativa o evaluativa es la característica del sistema axiológico. Ya se ha señalado cómo toda la información se remite en última instancia a operaciones materiales de comunicación entre agentes, mediadas por sistemas semióticos.

Vuelvo a poner de manifiesto que los componentes ‘valores’ son objetos conceptuales con menor o mayor grado de complejidad, con información pragmática valorativa o evaluativa. Los componentes ‘objetivos’ son conjuntos diseñados de valores, e incluyen además de información pragmática valorativa, información pragmática descriptiva. Finalmente, los componentes ‘normas’ podrían entenderse como sistemas de valores (incluyendo objetivos), y por tanto presentan no sólo información pragmática valorativa y descriptiva, sino también información pragmática práctica. Para centrar, desde la perspectiva endoestructural, entre estos componentes, se establecería, cuanto menos, una relación informativa sintáctica o estructural.

Por su parte, la exoestructura del sistema axiológico se basa en las relaciones entre componentes y entorno (C-E). Las relaciones más importantes que forman la exoestructura se dan, para una misma clase de valores (económicos, culturales...) entre aquellos internalizados, como componentes propios del sistema, y los valores externos de esa misma clase. Se trata por tanto de valores que pueden formar a su vez parte de un sistema o sistemas diferentes del sistema complejo de la ingeniería, como son los sistemas político, social, económico o cultural.

7.3.4 Actitudes: sistema ético de ingeniería ambiental sanitaria (*SETias*)

El sistema conceptual ético de la ingeniería ambiental sanitaria (*SETias*) está muy acoplado con el correspondiente sistema axiológico. Pero, a diferencia de la axiología, que responde más a lo que sería la parte teórica de los valores, el sistema ético ingenieril pretende dar respuesta a los aspectos prácticos, desde la perspectiva de lo humano, en el manejo de los valores. Por tal motivo, el sistema ético participa tanto del sistema axiológico como del sistema metodológico.

Aunque la ética ingenieril o ética profesional de la ingeniería, es una materia con un corpus académico notable, hasta donde se ha podido comprobar, los estudios sobre ética ingenieril no parten de enfoques sistemistas, como aquí se pretende. Entiendo que la ética de la ingeniería ambiental sanitaria es una especificación de la ética ingenieril, y por tanto la considero como un sistema conceptual característico de las comunidades profesionales de la

ingeniería ambiental sanitaria (COPIas), mediante el cual articulan conceptos y métodos con el fin de enfrentar problemas éticos de la práctica ingenieril como: la responsabilidad en el uso de medios y la consecución de resultados; la gestión de riesgos en la incertidumbre; los conflictos de valores; o la evaluación de la conducta profesional.

Para describir el sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria (*SETias*) utilizo el esquema que ya he presentado para el sistema ético ingenieril. Como se observa, puede distinguirse entre ‘endoética’ (componentes del sistema) y ‘exoética’ (entorno del sistema), así como niveles de complejidad creciente para los distintos grupos de valores, que se correlacionan con los sistemas de referencia: sistema bio-psíquico, sistema tecnológico ingenieril, y sistema social. Puede entenderse que el sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria tenga una especial relación también con el supersistema ecológico, por lo que a tal efecto se incorpora a la representación⁶⁵².

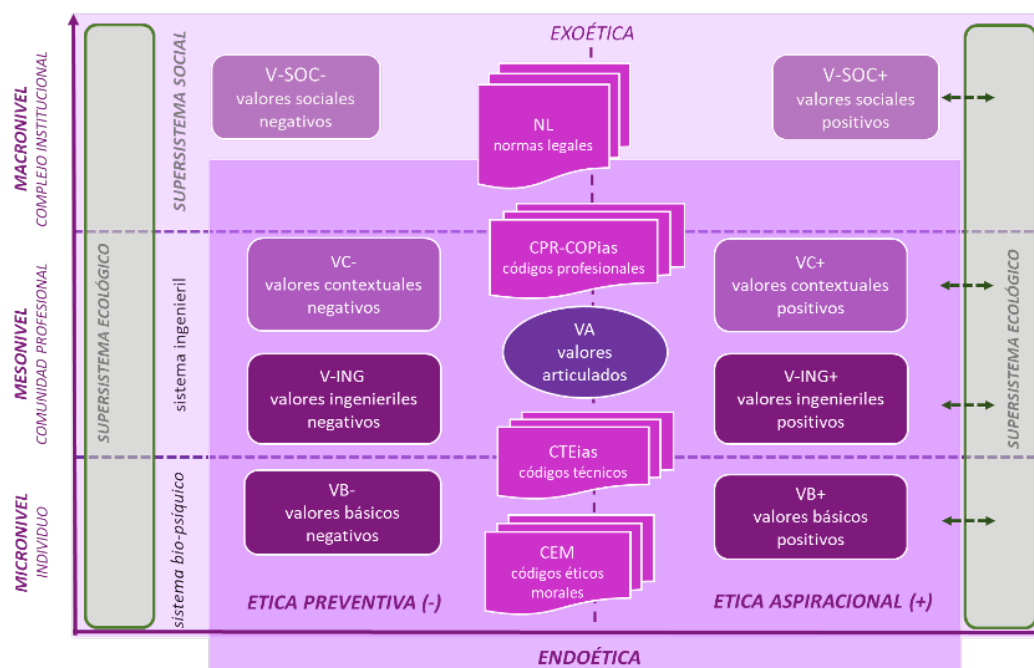


Fig. 7.3.4.a) Esquema de elementos (C y E) del sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria (*SETias*)

También resulta de interés que la estructura del sistema ético ingenieril refleje claramente la existencia tanto de valores considerados positivos, como de valores considerados negativos (o antivalores). Esta estructura permite situar entre los valores del mismo tipo, pero de distinto signo, los códigos y las normas legales, puesto que se conforman a partir de la conjunción ordenada de valores de uno u otro nivel, y de uno u otro signo. Esta columna central representaría el ‘estado de acuerdo’ de los valores en el sistema ético.

A partir de lo expuesto, se procede a identificar y describir los componentes (C), entorno (E) y estructura (S) que se proponen para el sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria (*SETias*).

⁶⁵² A diferencia de los sistemas bio-psíquico, tecnológico ingenieril y supersistema social, los valores relativos al supersistema ecológico requieren en todo caso de una identificación y evaluación epistémica.

7.3.4.1 Componentes (C) del sistema ético de ingeniería ambiental s. (*C_SETias*)

Siguiendo el esquema propuesto, considero cinco tipos de componentes para un sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria: (i) los sistemas semióticos, puente entre el individuo de la comunidad profesional ingenieril y el sistema ético; (ii) los valores simples (V), tanto positivos como negativos, como son los básicos (VB), los ingenieriles (V-ING) y los contextuales (VC); (iii) los valores articulados (VA) que remiten al campo ampliado⁶⁵³ de los valores, tales como principios, objetivos, fines y criterios; (iv) los códigos (C) deontológicos y técnicos, como sistema de valores (componentes-sistema); y (v) las normas legales (NL) también como sistema de valores, tanto normas sectoriales (temáticas) como las generales, que articulan respectivamente los valores tecnológicos y los correspondientes a los sistemas cultural, económico, político, así como elementos del sistema ecológico.

En cuanto a los sistemas semióticos, se incluyen como componentes a los mismos que para el sistema axiológico: lenguaje natural ordinario (LN-ORD), lenguaje natural tecnológico ingenieril (LN-TECias) y lenguaje formal lógico (LF-LOG). Una nómina de lenguajes ciertamente reducida si se compara con la variedad de sistemas semióticos empleados en los sistemas epistemológico y metodológico ingenieriles.⁶⁵⁴

Del grupo de valores como componentes se consideran los mismos que en el sistema axiológico, agrupados como básicos (VBias), ingenieriles (V-INGias) y valores contextuales (VCias). Como se observa están correlacionados –sugiriendo una cierta estructura– con los niveles y sistemas correspondientes, y se encuentran enfrentados los valores positivos a los valores negativos o antivalores.

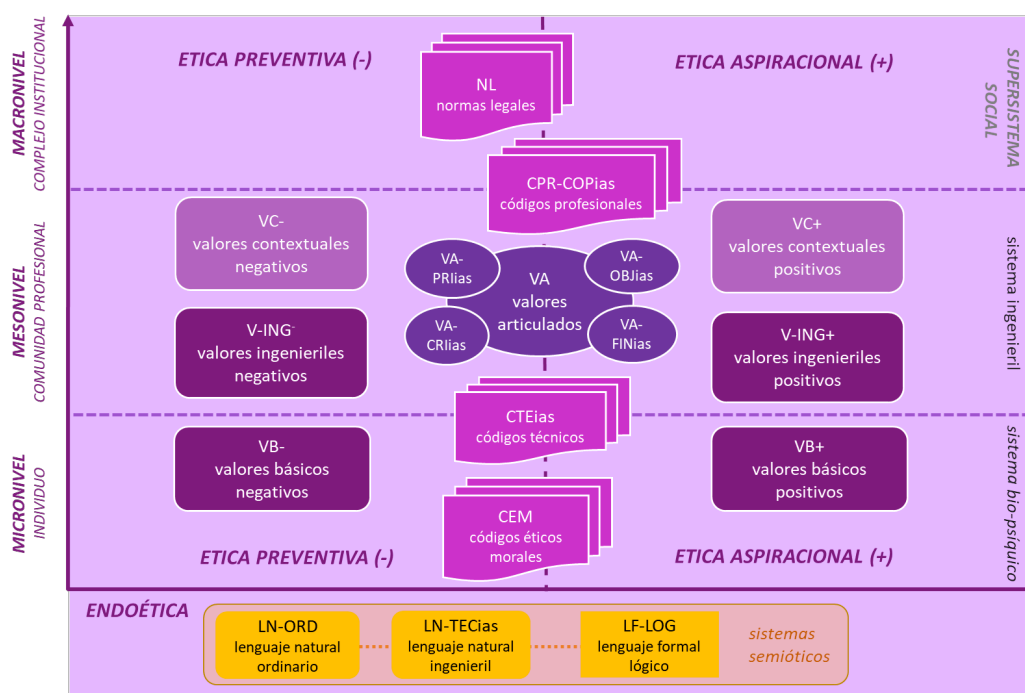


Fig. 7.3.4.b) Componentes (C) de un sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria (*C_SETias*)

⁶⁵³ Cfr. Mosterín (1993: 130), como ya se ha expuesto para el sistema ético ingenieril.

⁶⁵⁴ Entiendo que esto puede dar medida del mayor grado de desarrollo teórico en el sistema epistemológico y metodológico respecto a los sistemas axiológicos y éticos. En mi opinión, como se está haciendo en este trabajo, la incorporación de sistemas semióticos gráficos al discurso axiológico y ético podría ser una contribución positiva.

También como en el sistema axiológico, estos valores pueden ser más genéricos, de la ingeniería, o más específicos y propios de la ingeniería ambiental sanitaria. El conjunto de estos valores en el sistema ético constituye una especie de reservorio o marco de los valores que pueden estar en juego en el sistema ético. Se ponen como ejemplo de valores negativos: tecnológico ingenieriles (V-INGias) como ineficacia, ineficiencia, inseguridad, obsolescencia, riesgo, o residual; o contextuales ecológicos (VC-ECOLias) como degradación ambiental, pérdida de biodiversidad, contaminación, impacto ambiental, desequilibrio, deforestación, desertificación, polución, patogenidad, vulnerabilidad ambiental, o toxicidad.

En la parte central del sistema ético está situado el grupo de componentes de valores agregados (VA), como componentes-sistema, y por tanto tienen un grado de complejidad mayor que el del tipo de valores anteriores. Se trata de elementos conceptualmente más elaborados, como: principios (VA-PRI), objetivos (VA-OBJ), fines (VA-FIN) y criterios (VA-CRI). Los valores agregados son característicos del sistema ético por cuanto, basados en valores, se constituyen como espacios de acuerdo sobre el papel de lo humano en la ingeniería, en este caso en la ingeniería ambiental sanitaria. Así, reúnen tanto lo humano de la ingeniería en cuanto actividad humana, como la conflictividad sobre lo humano que pueden repercutir las transformaciones materiales ingenieriles.

Los principios éticos definen los fundamentos de la actividad ingenieril, y en el caso de la ingeniería ambiental sanitaria estos principios (VA-PRIias) serían, por ejemplo, para las políticas del agua y del medio ambiente en la Unión Europea, los principios (VA-PRI-POLias) de: cautela, prevención, corrección de la contaminación en su origen, ‘quien contamina paga’, y precaución⁶⁵⁵.

Los objetivos éticos, como valores agregados, orientan las acciones de la actividad ingenieril, desde un nivel más general de objetivos prioritarios hasta un nivel más particular, de objetivos específicos. En la ingeniería ambiental sanitaria, pueden considerarse como objetivos generales o estratégicos (VA-OBEias), continuando con el caso de las políticas de la Unión Europea: “la protección de la naturaleza; una mayor resistencia ecológica; el crecimiento sostenible, eficiente en el uso de los recursos e hipocarbónico; y la lucha contra las amenazas para la salud relacionadas con el medio ambiente”⁶⁵⁶. También los objetivos pueden ser más específicos o tácticos (VA-OBTias), situándose entonces en la proximidad de los objetivos internos (VA-OBint) del sistema axiológico que marcan los objetivos no solamente de la ingeniería ambiental sanitaria sino también de los cinco sistemas técnicos más relevantes de la misma.

Cuando los objetivos, como valores articulados, se proyectan en escenarios temporales, y se cuantifican en lo medida de lo posible, se consideran como fines (VA-FIN), tanto cuando se trata de objetivos más estratégicos como de objetivos más concretos o tácticos.

El último de los componentes de este grupo de valores articulados sería el de los criterios éticos (VA-CRI), que son constructos conceptuales cuyo objetivo es disponer de elementos de referencia para establecer preferencias en los análisis y evaluaciones éticas, señaladamente sobre: responsabilidad en el uso de medios y en la consecución de resultados; gestión de

⁶⁵⁵ El principio de precaución “es una herramienta de gestión del riesgo a la que puede recurrirse en caso de incertidumbre científica sobre una sospecha de riesgo para la salud humana o el medio ambiente que se derive de una acción o política determinada”. *cfr.* Parlamento Europeo: *La políticas de medio ambiente*. <http://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/71/> (acceso: febrero 2020).

⁶⁵⁶ Parlamento Europeo, *op. cit.*

riesgos en la incertidumbre; resolución de conflictos de valores; o evaluación de la conducta profesional (individual, colectiva o institucional).

Por otra parte, para concluir, estaría el grupo de códigos y normas legales. Los códigos (C), como componentes-sistema, se presentan desde un nivel básico y general como códigos éticos orientados a la persona o códigos ético-morales (CEM). En orden ascendente de complejidad se pasa a los códigos deontológicos o profesional de la ingeniería ambiental sanitaria (CPR-COPias), que se derivan del consenso en la práctica profesional, y están compuestos típicamente por: principios (VA-PRias), criterios (VA-CRIas) y valores (V). Por su parte, en los códigos técnicos (CTEias) de la ingeniería ambiental sanitaria, que se desarrollan para disponer de soluciones técnicas estandarizadas, tendrán interiorizados los aspectos éticos más relevantes a la hora de definir tanto las ‘prácticas ingenieriles aceptadas’ como las ‘mejores prácticas disponibles’ en la gestión integral del agua urbana (abastecimiento, saneamiento y depuración, y drenaje), de la gestión de los residuos sólidos urbanos, y del control y técnicas contra la contaminación del aire urbano.

Finalmente estaría el grupo de componentes de normas legales (NLias), y por tanto de carácter normativo, tanto las que pueden ser de carácter sectorial puesto que se refieren a la legislación sectorial aplicable a los objetos en transformación de la ingeniería ambiental sanitaria. A diferencia del grupo anterior, las normas legales se conforman y se exigen en un nivel superior al de la comunidad profesional, y por tanto como mínimo a partir del nivel del complejo institucional de gestión (CIN¹-Gias), aunque emanan típicamente del sistema político, dentro del supersistema social. Aquí puede contemplarse las normas legales, en diversos niveles de alcance institucional, relativas a: las aguas (administración hidráulica y servicios municipales), los residuos sólidos urbanos (protección y calidad ambiental, y gestión de residuos sólidos urbanos), la calidad del aire urbano y, de forma más general a la salud pública y protección del medio ambiente.

Además de las normas legales sectoriales, estarían las normas legales que regulan las distintas actividades, en tanto funciones praxiológicas de la ingeniería ambiental sanitaria, en las que la dimensión ética (desde lo individual hasta lo institucional) tiene una presencia ineludible, como ocurre en la actividad académica o formativa, en la actividades de investigación e innovación, en las actividades de consultoría, de construcción y de operación de sistemas técnicos, y por supuesto en todas las actividades de control y gestión del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria.

A partir de lo anterior, puede representarse el conjunto de componentes del sistema conceptual ético de la ingeniería ambiental sanitaria (C_SETias), como:

$$C_SETias = < SLN-ORD, SLN-TECias, SLF-LOG, VB, V-ING, VC, VA-PRias, \\ VA-OBias, VA-FIias, VA-CRIas, CEM, CPR-COPias, CTEias, \\ NL-SECias, NL-GENias >$$

donde,

SLN-ORD : lenguaje natural ordinario como componente-sistema en ingeniería;

SLN-TECias : lenguaje natural técnico de ingeniería ambiental sanitaria como componente-sistema;

SLF-LOG : lenguaje formal lógico como componente-sistema;

VBias : valores (y antivalores) básicos en ingeniería ambiental sanitaria;

V-INGias : valores (y antivalores) de la ingeniería ambiental sanitaria, que incluye los valores ontológicos, epistemológicos, metodológicos, axiológicos y praxiológicos de la ingeniería ambiental sanitaria;

VCias : valores (y antivalores) contextuales internalizados de la ingeniería ambiental sanitaria;
 VA-PRias : principios (valores articulados) de la ingeniería ambiental sanitaria;
 VA-OBias : objetivos (valores articulados) de la ingeniería ambiental sanitaria;
 VA-FIias : fines (valores articulados) de la ingeniería ambiental sanitaria;
 VA-CRias : criterios (valores articulados) de la ingeniería ambiental sanitaria;
 CEM : código ético-moral de individuos de la comunidad profesional ingenieril;
 CTEias : códigos técnicos ingenieriles de la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria;
 CPR-COPias : códigos profesionales o deontológicos de la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria;
 NL-SECias : normas legales sectoriales del área (aguas y medio ambiente) de la ingeniería ambiental sanitaria;
 NL-GENias : normas legales generales de aplicación a las actividades de la ingeniería ambiental sanitaria, internalizadas desde los sistemas político (NL-POLias), económico (NL-ECONias), cultural (NL-CULias), del supersistema social (NL-SOCias), o desde el supersistema ecológico (NL-ECOLias).

7.3.4.2 Entorno (E) del sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria (*E_SETias*)

En el entorno más inmediato del sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria (*SETias*) se encontraría el sistema axiológico (*SAXias*). Además, el sistema ético tiene como entorno al resto de sistemas del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria: sistema óptico material (*SONias*), sistema conceptual epistémico (*SEPIas*), sistema conceptual metodológico (*SMEias*) y sistemas funcionales praxiológicos (*SPRAias*).

Pero además, al seleccionar los componentes (C), ya del sistema praxiológico, se han dejado fuera del sistema ético un conjunto de elementos del contexto que no están internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria, y que forman parte de sistemas con un nivel sistémico diferente. Entonces, los elementos (valores, valores articulados, y normas legales) exógenos o externos que nos han quedado ya fuera del sistema axiológico, y por tanto después del sistema ético, a excepción de los bio-psíquicos que he incorporado en su totalidad, formarán parte de alguno de esos sistemas (de nivel n+1), como ocurre con: el sistema económico (V-ECON y NL-ECON); el sistema cultural (V-CUL y NL-CUL), incluso su subsistema tecnológico no ingenieril (V-TEC); y el sistema político (V-POL y NL-POL); o tomados incluso como supersistema social (V-SOC y NL-SOC). Además de los cuales, puede incluirse los valores externos del sistema ecológico (V-ECOL y NL-ECOL).

De acuerdo con lo expuesto, el entorno (E) del sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria (*SETias*) podría representarse como:

$$E_SETias = \langle SAXias, SEPIas, SMEias, SONias, SPRAias, V-TEC, V-CUL, V-ECON, V-POL, V-SOC, V-ECOL, NL-SOC, NL-ECOL \rangle$$

donde:

SAXias : sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria;
SEPIas : sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria;
SMEias : sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria;
SONias : sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria;
SPRAias : sistemas funcionales praxiológicos de la ingeniería ambiental sanitaria;
 V-TEC : valores tecnológicos (no ingenieriles) no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;

V-CUL : valores del sistema cultural no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
 V-ECON : valores del sistema económico no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
 V-POL : valores del sistema político no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
 V-SOC : valores del supersistema social no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
 V-ECOL : valores asignados al supersistema ecológico no internalizados en la ingeniería ambiental sanitaria;
 NL-SOC : normas legales del supersistema social (incluyendo los sistemas político, económico y cultural) no internalizadas en la ingeniería ambiental sanitaria;
 NL-ECOL : normas legales relacionadas con el sistema ecológico no internalizadas en la ingeniería ambiental sanitaria.

7.3.4.3 Estructura (S) del sistema ético de ingeniería ambiental sanitaria (*S_SETias*)

Como antes, voy a considerar en primer lugar las relaciones endoestructurales, que se dan entre componentes (C-C), y posteriormente las relaciones exoestructurales, que se dan entre los componentes y el entorno (C-E). Estamos, dada la naturaleza abstracta del sistema conceptual ético, ante relaciones informativas.

Los elementos del sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria (*SETias*), tanto componentes como entorno, tienen las mismas características que en el sistema axiológico. Los elementos ‘valores’ (V) son objetos conceptuales con menor o mayor grado de complejidad, con información pragmática valorativa o evaluativa. Los elementos ‘valores articulados’ (VA) son conjuntos diseñados de valores, e incluyen además de información pragmática valorativa, información pragmática descriptiva. Por otra parte, los elementos ‘códigos’ y ‘normas legales’ serían sistemas de valores, que presentan no sólo información pragmática valorativa y descriptiva, sino también información pragmática práctica.

Así que debe atenderse a las relaciones de competencia entre componentes (valores, objetivos y normas), que tienen que ver con su compatibilidad, por ejemplo, así como otras diferentes características relacionales. Para centrar, desde la perspectiva endoestructural, entre estos componentes, se establecería, cuanto menos, una relación informativa sintáctica o estructural.

En todo caso, como se ha observado en los sistemas conceptuales anteriores (epistémico, metodológico y axiológico), tanto las relaciones endoestructurales (C-C) como las exoestructurales (C-E) son de naturaleza conceptual, informativa. Y como tales podrán ser de información estructural o sintáctica, o de información pragmática (descriptiva, práctica o valorativa). Ya se ha señalado también cómo toda la información se remite en última instancia a operaciones materiales de comunicación entre agentes, mediadas por sistemas semióticos (lenguajes).

7.4 PRÁCTICA INGENIERIL: SISTEMAS PRAXIOLÓGICOS EN INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA

Hasta aquí se han expuesto el conjunto de los sistemas que, bajo el modelo CES (componentes-entorno-relaciones) de Bunge, y como sistemas material (*SONias*), mixtos (sistemas semióticos) y culturales (epistémico, metodológico, axiológico y ético), formarían parte como componentes (C) del complejo sistémico de la ingeniería ambiental sanitaria, bajo el modelo bungeano CES. Pero, como se ha dicho, para dar cuenta de los mecanismos efectivos de la ingeniería ambiental sanitaria, hay que incluir cuatro haces de sistemas funcionales praxiológicos, que articulan el conjunto de sus sistemas.

Estos cuatro haces representan cuatro grupos de sistemas funcionales que son los procesos o mecanismos (M) característicos ya de un modelo CESM bungeano para el sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria. Estas funciones praxiológicas son comunes al conjunto de las ingenierías, y por tanto para la ingeniería ambiental sanitaria. Las funciones, como ya se ha señalado en el modelo para la ingeniería, serían: i) la función praxiológica de transmisión cultural o académico-docente, que pretende dar continuidad en el tiempo al sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (*S²INGas*) mediante la transmisión efectiva, a través de la comunidad profesional ingenieril (COPIas), de las claves de comprensión y operación de todos los sistemas constituyentes del sistema complejo ingenieril, para ‘producir’ nuevos miembros de la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria; ii) la función praxiológica de cambio ingenieril, que atiende a valores-objetivo (maximización de eficiencia técnica e innovación) que explican los procesos tanto de investigación y desarrollo (I+D), como el de innovación (i), que son consustanciales a la tensión de cambio propia de las tecnologías, particularmente de las tecnologías ingenieriles; iii) la función praxiológica productiva, que lleva a la transformación de cosas o procesos, mediante la combinación de las subfunciones de ejecución material y de gestión de la ejecución (o también de las subfunciones ‘proyecto’ y ‘ejecución material’), hasta la obtención de productos y servicios (de valor mercantil o económico) característicos de la ingeniería ambiental sanitaria; y iv) la función praxiológica de gestión del sistema complejo ingenieril, en donde se da cuenta a su vez de funciones más generales del conjunto como la de administración, control y evaluación del sistema complejo ingenieril.

Los sistemas funcionales praxiológicos se ajustan a un modelo lineal, de acciones que transforman objetos (estado de cosas), desde unos *inputs* o elementos de entrada, hasta los *outputs* o elementos de salida. En el modelo general de la ingeniería que se ha presentado, también se pone de manifiesto una importante distinción entre dos capas. La capa superior o conceptual, que es donde se realizan acciones en las que están involucrados principalmente componentes de los sistemas conceptuales, de modo que a partir de *inputs* conceptuales se llega a obtener una serie de *outputs* conceptuales. Del mismo modo, y en paralelo, estaría la capa inferior, material, en la que desde *inputs* materiales se llegaría a *outputs* materiales.

En este esquema puede observarse cómo se diferencia entre ‘estado de cosas’ y ‘acciones’. Tanto los *inputs* como los *outputs* son estados de cosas, con posibles estados de cosas intermedios. Entre un estado de cosas y el siguiente se presentan unas acciones determinadas (llave de paso en la figura) que provocan un cambio definible en el estado de cosas. Las acciones están relacionadas directamente con un agente, bien más sencillo como son los agentes de la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria (COPIas) – que en todo caso emplean sistemas lingüísticos para intercomunicar con los sistemas conceptuales– o, de forma más general, los agentes del complejo institucional (SON-CINias). Entonces, las acciones de cambio de estado de cosas tienen un agente responsable, pero también un conjunto de componentes de los distintos sistemas que intervienen en las distintas

secuencias de la acción. Aquí es muy importante señalar como típicamente, entre las acciones y el estado de cosas hay un bucle de realimentación y balance, de modo que en el flujo general del sistema praxiológico estarían balanceadas las acciones y estado de cosas.

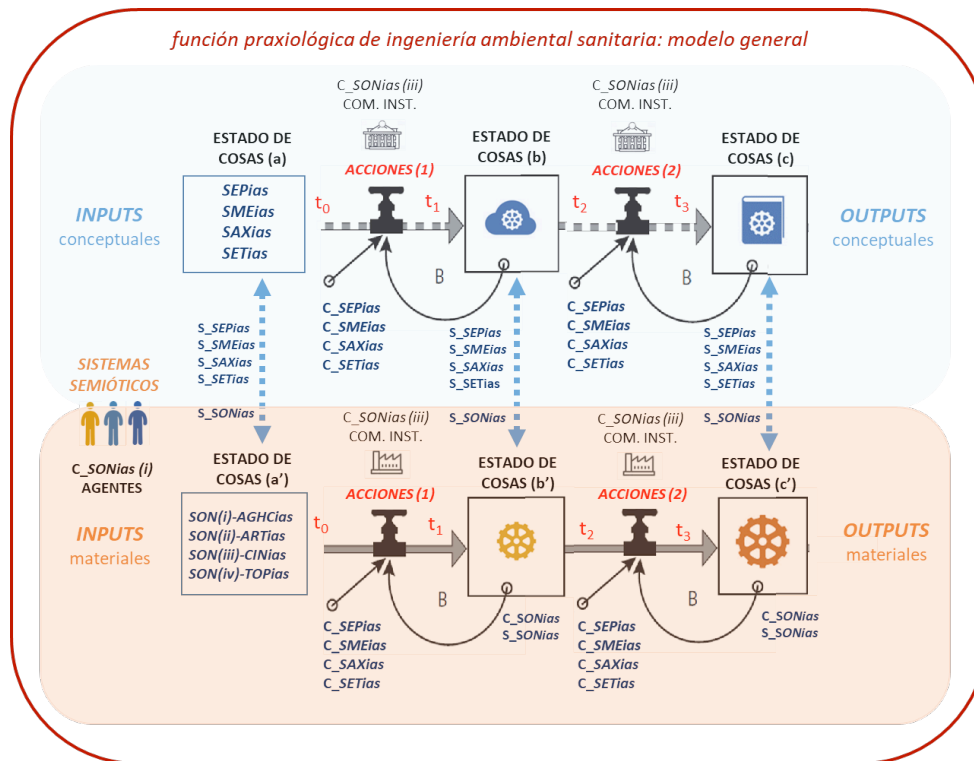


Fig. 7.4.a) Esquema general de un sistema funcional praxiológico de la ingeniería ambiental sanitaria

Por otra parte, los sistemas (y subsistemas) funcionales praxiológicos de la ingeniería ambiental sanitaria están relacionados, al menos, con los cinco tipos de sistemas técnicos seleccionados: i) abastecimiento de agua a poblaciones; ii) saneamiento y depuración de aguas residuales urbanas; iii) drenaje de pluviales y escorrentía urbana; iv) recogida selectiva y tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU); y v) control y corrección de la contaminación del aire urbano. Esto se observará a lo largo de la ruta de elucidación.

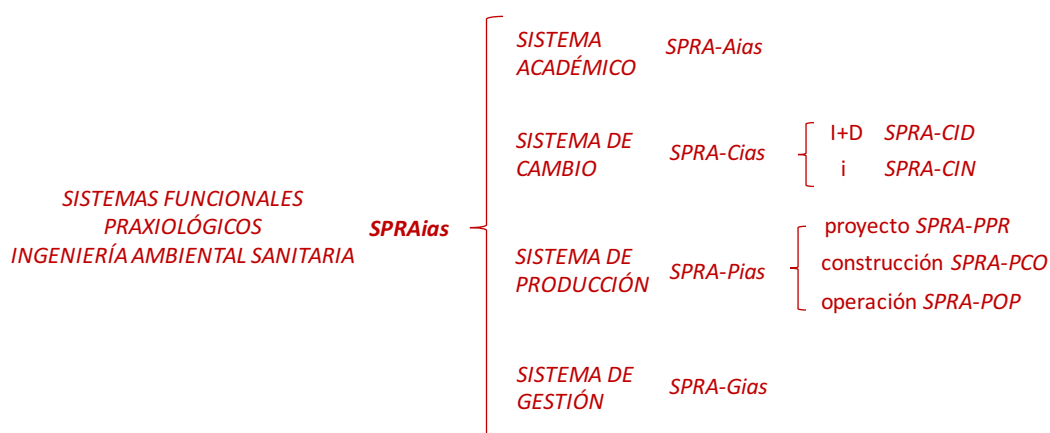


Fig. 7.4.b) Ruta de elucidación de los mecanismos (M), como sistemas funcionales praxiológicos de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas)

7.4.1 Transmisión cultural: sistema praxiológico académico de ingeniería ambiental

Este sistema funcional praxiológico académico de la ingeniería ambiental sanitaria (*SPRA-Aias*) podría considerarse como primordial en la conservación y dinámica histórica de largo plazo del sistema complejo la ingeniería ambiental sanitaria, por cuanto es responsable de la transmisión (como incorporación cultural) de todo el corpus conceptual de conocimientos, métodos y valores, entre agentes (entre personas concretas) en cuyas mentes se hace disponible ese conocimiento.

La transmisión del conjunto de los conocimientos de la ingeniería ambiental sanitaria requiere no solamente de unos agentes cualificados (comunidad profesional académica de la ingeniería ambiental sanitaria) para elaborar y transmitir conocimientos, sino de la conservación de la información en soportes adecuados (impresos y digitales).

En el capítulo del modelo general de la ingeniería ya se ha detallado el método seguido para la representación gráfica de los distintos sistemas funcionales praxiológicos. Sin embargo, como puede observarse, en comparación con las representaciones siguientes, la de la función praxiológica académica tiene una estructura singular –relativamente más sencilla– puesto que los objetos a transformar son precisamente los estudiantes y las estudiantes de pregrado que se acaban titulando en ingeniería civil o en ingeniería ambiental, según los ámbitos geográficos.

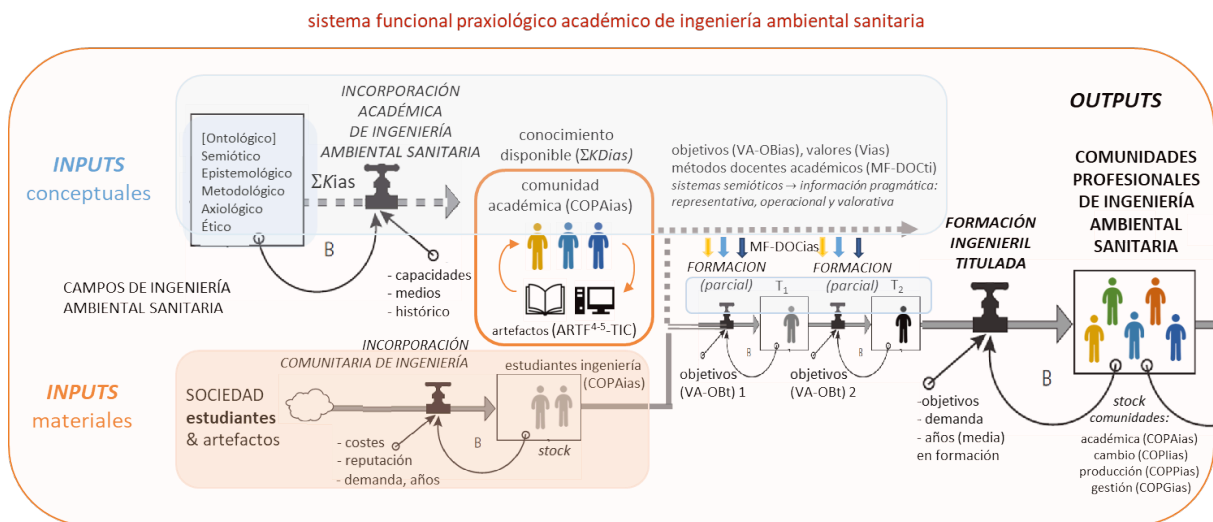


Fig. 7.4.1.a) Sistema funcional praxiológico académico-docente de la ingeniería ambiental sanitaria

Para simplificar, he trazado solamente el flujo material (representado por una flecha de línea continua) de las personas (estudiantes) que se incorporan al proceso. Aunque a partir de este punto se entra en el bloque de procesos, creo adecuado describir ya este primer proceso que denomino ‘incorporación comunitaria a la ingeniería’ en el sentido de incorporación de personas de una población (estudiantes de pregrado) a la formación que titula las competencias de la ingeniería ambiental sanitaria.

Este proceso se representa mediante una llave de paso, que remite por tanto a una serie relevante de acciones por las que se incorporan estudiantes de ingeniería, formando ya parte, en sentido amplio, de la comunidad de agentes de la ingeniería ambiental sanitaria (COPAias), que se reproduce en un rectángulo que representa un estado de cosas, con una anotación de ‘stock’ como variable cuantitativa de control. En esta figura aparece también un bucle de balance (B), con la identificación de variables que pueden ser relevantes para la

estabilización del sistema⁶⁵⁷. En este caso he identificado, a modo de ejemplo, las variables de: costes (económicos), reputación de la institución académica, la demanda laboral profesional, y los años de duración del proceso formativo. De ello puede derivarse la no linealidad del proceso de incorporación de individuos a las instituciones académicas.

Por otra parte, he separado los *inputs* conceptuales, en donde entiendo que se encontraría el conjunto de conocimientos ingenieriles en el sentido más amplio, hasta el punto de que lo hago equivalente al modelo de sistema complejo de una tecnología. Entiendo que la idea de considerar por separado los *inputs* conceptuales, de la que no he encontrado referencias, es consistente con el planteamiento de la tecnología como sistema complejo, puesto que permite integrar con más claridad los objetos conceptuales en los procesos, lo que se hace especialmente necesario al tratar el sistema praxiológico académico-docente.

Establezco el punto de partida de los *inputs* conceptuales en el conjunto limitado (representado entonces por un rectángulo) de entidades conceptuales abstractas que forman los sistemas epistemológico, metodológico, axiológico y ético, así como en los objetos del modelo de representación del sistema ontológico concreto y del propio sistema praxiológico de la ingeniería. Como *inputs* conceptuales, estos campos ingenieriles, con contenido fundamentalmente de carácter conceptual, constituirían el potencial de conocimiento (en el sentido más amplio) sobre la ingeniería ambiental sanitaria, que represento como $\Sigma Kias$, y que serían los *inputs* conceptuales. Pero, como en el caso anterior, los *inputs* vienen inmediatamente seguidos ya de un proceso preparatorio, por así decirlo, que voy a ir desgranando. De ahí que se presente un proceso de ‘incorporación académica de ingeniería’, siguiendo la noción de ‘incorporación cultural’ de Quintanilla, por el que ese potencial de conocimiento va a convertirse en conocimiento ingenieril (ambiental sanitario) disponible ($\Sigma KDias$), que no es sino aquella parte del conocimiento potencial que efectivamente se ha incorporado a través de la actividad de la comunidad académica (COPAias), como componente del sistema ontológico concreto (de ahí esa diferenciación mediante el color). Como se observa, ese conocimiento disponible, de naturaleza conceptual, va a residir en las personas (probablemente en la mente) que conforman la comunidad académica. En la figura aparece la comunidad académica vinculada (con un subproceso de realimentación) con artefactos (ARTF⁴⁻⁵TIC) que vienen a ser los soportes de memoria externa analógica o digital de esa cultura tecnológica incorporada.

El proceso de incorporación académica de la ingeniería tiene unas variables de bucle de estabilización que, más allá de la intencionalidad específica de la comunidad por incrementar su capital académico (por así llamarlo), depende de otras variables. Entre ellas he identificado las capacidades reales de la comunidad académica, los medios humanos y materiales disponibles, así como el histórico de incorporación académica del conocimiento tecnológico ingenieril que está en progreso continuado (como se verá en su momento en el sistema funcional praxiológico de cambio ingenieril).

En este punto, tenemos dos líneas paralelas de entrada (material y conceptual), inclusive sus procesos de incorporación, que ya son funciones auxiliares de la función esencial del complejo institucional académico de la ingeniería ambiental sanitaria (CINAias), como es la

⁶⁵⁷ Los mecanismos cibernéticos de estabilización o realimentación de los sistemas son, junto con los procesos (incluidos los agentes intencionales) y los estados de cosas, los tres elementos fundamentales que articulan la estructura del sistema funcional praxiológico. En el presente sistema funcional praxiológico académico-docente sólo he identificado mecanismos de estabilización (B), para los que he incorporado algunas de las variables que pueden incidir –más allá de la intencionalidad pretendida de las acciones- en la modificación del flujo de entrada y por tanto del estado de cosas considerado.

‘formación ingenieril titulada’ que viene a surtir el *stock* de capital humano de profesionales en ingeniería ambiental sanitaria.

El proceso de incorporación del conocimiento ingenieril se realiza por la comunidad académica, con unas referencias de objetivos (parciales) para las variables de estado de cosas (la cualificación ingenieril progresiva del alumnado), y mediado por los distintos tipos de lenguajes (como sistemas semióticos) que están posibilitando la transferencia efectiva de la información (representativa, operativa y valorativa). En la figura he presentado solamente dos procesos intermedios de formación (cuyos estabilizadores son los objetivos intermedios), en los que tiene un relevante papel los métodos docentes académicos (MF-DOCias), que forman parte del sistema conceptual metodológico. En este sentido puede señalarse, como no podría ser de otro modo, que este sistema funcional praxiológico (como el resto) incluye componentes, al menos: del sistema ontológico concreto (COPAias, ARTF⁴⁻⁵-TIC, CIN-Aias); de sistemas semióticos (lenguajes y sistemas gráficos); del sistema epistemológico; del sistema metodológico (MF-DOCias); y de los sistemas axiológico y ético (Vias, VA-OBias).

El stock de capital humano ingenierilmente formado podría considerarse, en tanto resultado esperado como la salida (*output*). Sin embargo, como se observa en la figura completada, se presentan los *outputs* últimos del sistema funcional, en donde se muestra que más allá de los profesionales que se incorporan a las comunidades profesionales de ingeniería está el *output* final, en la sociedad, de las personas tituladas en ingeniería ‘inactivadas’ profesionalmente. Considero esta finalización como un proceso que afecta al stock de capital humano disponible de la comunidad profesional, y en donde se aprecian variables del estabilizador, como: la vida media profesional, o el cambio de actividad profesional, o del marco geográfico de referencia.

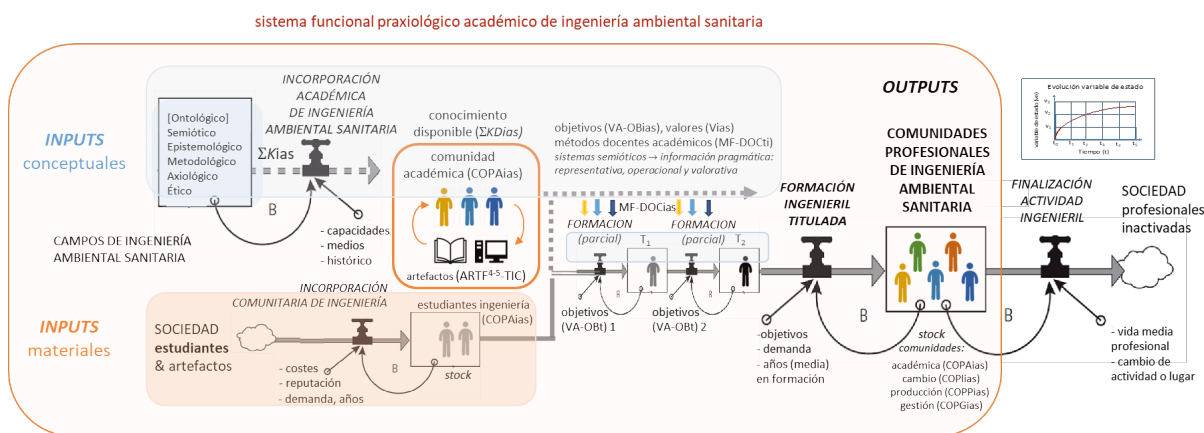


Fig. 7.4.1.b) Sistema funcional praxiológico académico de ingeniería ambiental sanitaria (expandido)

7.4.2 Cambio: sistema praxiológico de I+D+i en ingeniería ambiental sanitaria

El sistema funcional praxiológico de cambio de la ingeniería ambiental sanitaria (*SPRA-Cias*) pretende dar cuenta de un aspecto nodular de la ingeniería en general como es el cambio tecnológico. Una expresión que empleo para abarcar también las nociones de ‘progreso tecnológico’, ‘evolución tecnológica’ o ‘desarrollo tecnológico’. El cambio ingenieril puede comprobarse en objetos (materiales, formas...), conocimientos, prácticas, objetivos, procesos y resultados ingenieriles, lo que supone tratar de la dinámica de cambio —en su historicidad— de los sistemas ónticos materiales, semióticos, epistémicos, metodológicos, axiológicos, éticos y praxiológicos de la actividad de la ingeniería ambiental sanitaria.

Entonces, el sistema funcional praxiológico de cambio ingenieril, o de investigación e innovación en ingeniería ambiental sanitaria da cuenta tanto del subsistema de investigación y desarrollo (I+D), como del de innovación (i), lo que se denomina como I+D+i de forma agregada. Estos dos subsistemas pueden diferenciarse por los *input* o componentes de entrada al sistema praxiológico, ya que el subsistema de investigación requiere necesariamente partir de una novedad suficiente (formal, material o funcional), mientras que el de innovación parte de un producto del mercado, que habitualmente forma parte de alguno de los sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

7.4.2.1 Subsistema praxiológico de investigación y desarrollo (I+D) en ingeniería ambiental sanitaria

El subsistema de cambio en ingeniería ambiental sanitaria mediante investigación (I+D) es un sistema funcional praxiológico de cambio ingenieril compuesto por agentes (comunidad profesional de ingeniería ambiental sanitaria de investigación) que realizan acciones intencionales en donde se opera, a partir de unas entradas (*inputs*) mediante objetos (conceptuales y materiales) que definen estados de cosas, con el fin de descubrir (y proteger económicamente) salidas (*outputs*), que son de naturaleza conceptual (patente) y material (producto), y que de forma conjunta permiten situar un nuevo producto (entendido en el sentido más amplio) en el mercado.

Esto se representa, muy esquemáticamente, por una secuencia desde los *inputs*, pasando por una acción dada, hasta un estado de cosas. Y así hasta el resultado final como *outputs*, en tanto estado de cosas final. Como se ha observado ya, la representación incluye solamente los elementos que se consideran más importantes para dar cuenta del sistema funcional praxiológico. Así, se atiende en todo caso a los agentes y sus sistemas semióticos (como sistemas puente entre la cultura ingenieril y la ontología material ingenieril), los estados de cosas (tanto conceptuales como materiales), y las acciones intencionales que van transformando los estados de cosas hasta la finalidad pretendida.

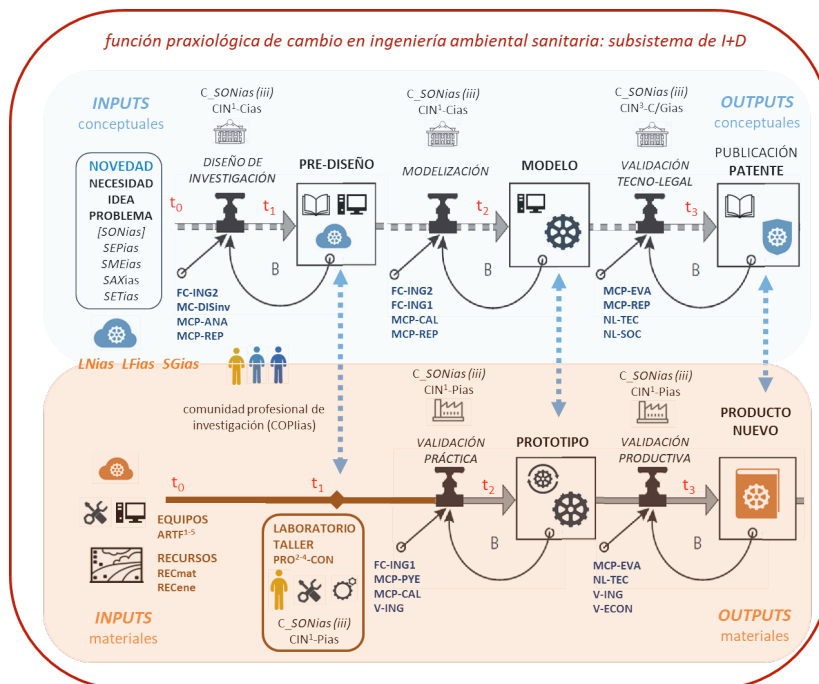


Fig. 7.4.2.a) Sistema funcional praxiológico de cambio en ingeniería ambiental sanitaria: subsistema I+D

Este sistema praxiológico parte de una serie de *inputs*, entre los que se distinguen los conceptuales y los materiales. Estos dos tipos de *inputs* marcan dos filas paralelas, interrelacionadas, de acciones y de estados de cosas, hasta llegar a las salidas (*outputs*). La superior (azul) es la línea en que predominan los elementos de naturaleza conceptual, mientras que la línea inferior (ocre) es aquella donde están más presentes los elementos materiales.

Puede entenderse que el punto de partida del proceso de investigación ingenieril, con el mayor grado de novedad, parte de interacciones necesidad-idea-problema, que a su vez están relacionadas con las representaciones disponibles del sistema óptico material (*SONias*), muy especialmente de los subsistemas artefacticos (*SON(ii)-ARTias*) y toposistema (*SON(iv)-TOPias*), y de la disponibilidad de conocimientos (*SEPias*), de métodos (*SMEias*) y de valores (*SAXias*), tanto de la ingeniería ambiental sanitaria como de las ingenierías abarcales (ingeniería civil e ingeniería ambiental). Estos elementos se ponen en relación desde la comunidad profesional ingenieril de investigación a través de los sistemas semióticos (lenguajes naturales, lenguajes formales y sistemas gráficos) como sistemas puente.

A efectos ilustrativos, y aunque las dinámicas de cambio son muy variadas en la ingeniería ambiental sanitaria, dentro de los sistemas técnicos del agua (abastecimiento, saneamiento y depuración, y drenaje urbano) pueden considerarse como ejemplo representativo⁶⁵⁸ de líneas de interés de la investigación universitaria sobre: i) gestión integrada de la contaminación en sistemas de saneamiento y drenaje en tiempo de lluvia; ii) diseño urbano sensible al agua y técnicas de drenaje urbano sostenible (TDUS); iii) depuración de aguas residuales urbanas; iv) presiones sobre masas de agua continentales y marinas por vertidos de aguas residuales; v) agua en el medio rural (pequeñas aglomeraciones y presiones difusas); vi) gestión del agua en actividades productivas y en sistemas de agua urbana; y vii) gobernanza, gestión y conocimiento del agua y del territorio.

Una vez identificada la línea de investigación, ya como inicio (t_0) la primera acción formalizada suele ser el diseño ingenieril para la invención (MC-DISinv), desde un fondo de conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2), y en donde típicamente pueden utilizarse métodos de análisis (MCP-ANA) y de representación (MCP-REP). Al mismo tiempo, en la capa material, puede considerarse que los *inputs* materiales (equipos y recursos) presentan, en cierto modo, el contexto material en que puede realizarse la invención. Un contexto material que aparece, mediante las representaciones correspondientes, entre los componentes de los sistemas conceptuales epistémico y metodológico.

En un siguiente momento (t_1), las acciones de diseño de investigación llevan –incluyendo un bucle (B) de interacción– hasta un estado de cosas como resultado parcial, que puede denominarse diseño o pre-diseño, y que sería una descripción relativamente detallada del espacio de posibilidades de la novedad. Este pre-diseño está conectado con la realidad material de la novedad, a través de operaciones de ensamblaje y transformación en laboratorio o taller, partiendo de los *inputs* materiales descritos. Puede señalarse que en esta línea material, se hace más relevante la participación de agentes de COPIas con elevadas capacidades de conocimiento operacional o primario (FC-ING1).

Desde el prediseño contrastado materialmente, pueden considerarse una acción más conceptual (modelización) y una más material (validación práctica). En la primera se combinan conocimientos ingenieriles secundarios y primarios en métodos de cálculo y

⁶⁵⁸ Líneas generales de investigación del grupo universitario de investigación GEAMA-Área de ingeniería sanitaria y ambiental de la Escuela de Ingeniería de Caminos de la Universidad de A Coruña. www.geama.org > sanitaria (acceso febrero 2020).

representación, para modelizar (matemática o informáticamente) las características y eventuales respuestas del diseño de invención. En la línea más material, las acciones persiguen la validación práctica de la invención, con un dominio de los conocimientos ingenieriles primarios, y de métodos (desde los de prueba y error hasta los de cálculo). Esta validación práctica buscaría adecuar la invención a valores característicos tecnológicos e ingenieriles. Estas acciones llevarían a un momento (t_2), en donde el estado de cosas podría estar formado por: un modelo (conceptual) y un prototipo (material) de la invención.

Las siguientes acciones conducirían ya hasta los resultados finales (*outputs*). En la capa más conceptual, el modelo-prototipo sería objeto de acciones para su validación técnico-legal. En esta parte, además de la comunidad profesional ingenieril de investigación (COPIas), participarían también agentes de la comunidad profesional ingenieril de gestión (COPGias), del complejo institucional de investigación, así como de complejos institucionales del supersistema social. Las acciones incluyen métodos de evaluación y de representación, así como relaciones con normas legales tecnológico ingenieriles y normas legales sociales, para la protección del invento mediante patente.

Por su parte, en la capa material se desarrollan acciones para la validación productiva del invento, atendiendo a métodos de evaluación en relación con las normas legales técnicas y valores técnico ingenieriles, así como los valores económicos del nuevo producto. Todo esto llevaría en un momento dado (t_3) al resultado final (positivo) en que la comunidad profesional ingenieril de investigación obtendría un producto nuevo patentado.

Al final de la capa conceptual se indica, como estado de cosas, la posibilidad de ‘publicación’ como puesta a disposición de la comunidad profesional ingenieril de investigación, y de otras comunidades tecnológicas y científicas, de parte o la totalidad de los conocimientos teóricos y prácticos obtenidos durante el proceso de investigación en ingeniería ambiental sanitaria. La publicación puede realizarse no solamente del resultado final, sino de cualquiera de los resultados intermedios. Como ejemplo⁶⁵⁹ de soportes para publicación de investigaciones en ingeniería ambiental sanitaria del agua podrían mencionarse: *Journal of Hydrology*, *Water Science and Technology*, *Green Energy and Technology*, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, *Science of the Total Environment*, *Journal of Hydrologic Engineering*, o *Ecological engineering*.

En relación con los resultados de la investigación, puede hacerse una precisión respecto al subsistema praxiológico de I+D de la ingeniería, y es que la investigación no siempre da resultados. Podría entenderse que un no-resultado, o sea un fracaso de la investigación, también es un resultado puesto que puede alcanzarse algún estado intermedio, o en todo caso muestra una vía tecnológica infructuosa. Pero, sin embargo, como se vio antes, al contrario que las comunidades científicas que son más abiertas y transparentes, las comunidades tecnológicas, y como tal la comunidad profesional ingenieril de I+D+i son más resistentes a la transferencia de información abierta y, por supuesto, a facilitar datos sobre vías incorrectas para la resolución problemas.

Habitualmente, ese nuevo producto patentado con que ha terminado el sistema praxiológico de I+D del cambio ingenieril, se incorporaría al mercado mediante los procesos productivos, formando parte ya del sistema praxiológico de producción ingenieril. Como se observa en la figura ampliada, ese nuevo producto acabará con el tiempo en la obsolescencia ingenieril, tanto por la pérdida de condición de la patente, como por el desajuste de sus

⁶⁵⁹ Tomado a partir de las revistas de publicación en los últimos tres años por investigadores del grupo de investigación GEAMA (Ingeniería del agua y del medio ambiente) de la Escuela de Caminos de la Universidad de A Coruña. www.geama.org > sanitaria (acceso febrero 2020).

características y cualidades en los mercados futuros. De ahí la importancia del sistema de I+D de cambio ingenieril, así como de su historicidad.

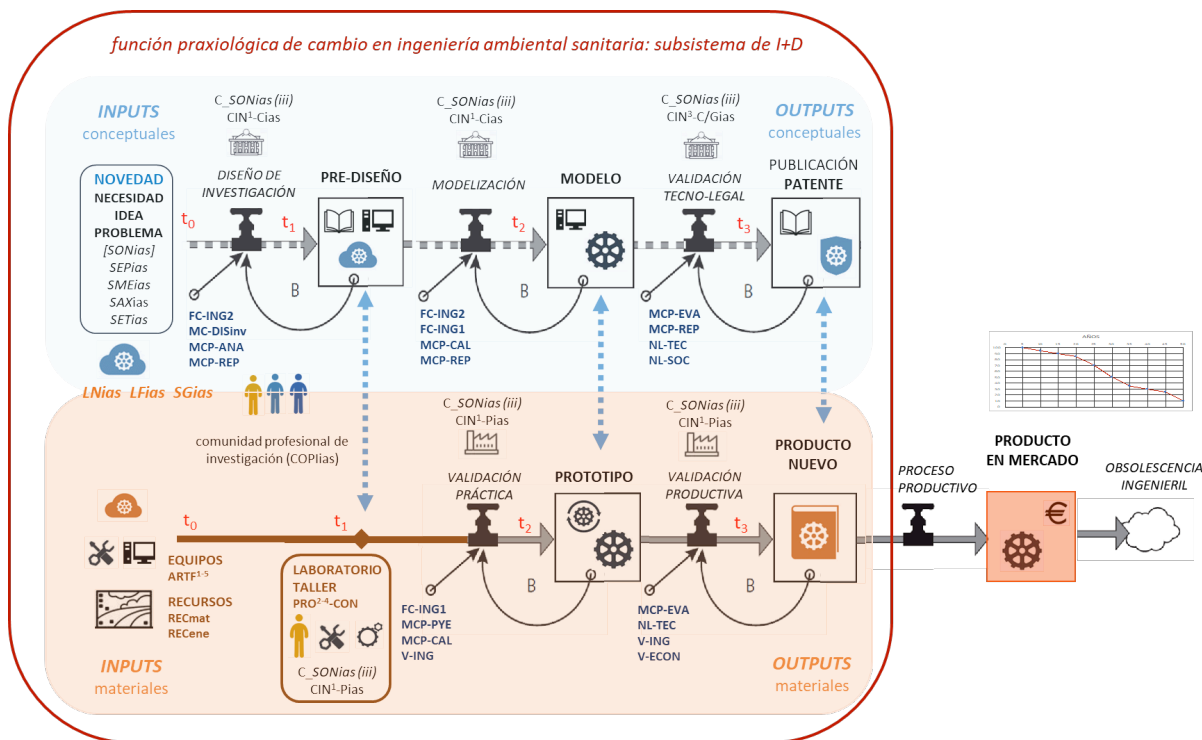


Fig. 7.4.2.b) Sistema praxiológico de cambio (I+D) de ingeniería ambiental sanitaria y eventual conexión con el sistema praxiológico productivo

Es conocido y aceptado que la investigación tecnológica es una actividad de resultados inciertos, pero que si bien tiene limitados resultados al analizar los casos concretos, tiene mejores resultados cuando se analizan los casos más globalmente. En contrapartida, tanto en la ingeniería general, como en la ingeniería ambiental sanitaria, hay un camino más previsible para obtener resultados y mucho más frecuentado: la innovación tecnológica ingenieril.

7.4.2.2 Subsistema praxiológico de innovación (i) en ingeniería ambiental sanitaria

Ya se ha señalado cómo la innovación es tan importante que Quintanilla (2005: 62) distingue el ‘imperativo de innovación’ al señalar que “en la tecnología actual la innovación es un imperativo con el que se cuenta de antemano. (...) En el diseño tecnológico actual los artefactos se diseñan ‘para ser mejorados’ de inmediato”. De este imperativo puede deducirse que la innovación no se ha de limitar solamente a la prevista en este subsistema praxiológico de cambio (I+D+i), que está habitualmente orientado al sistema praxiológico productivo, sino que también habría (o debería haber) innovación en los sistemas praxiológicos académico-docente y en el de gestión y control.

En todo caso, voy a centrarme en la aplicación praxiológica productiva de la innovación⁶⁶⁰. Como he anticipado, el subsistema funcional praxiológico de innovación, a

⁶⁶⁰ Sin embargo, se entiende que en la función praxiológica de cambio en los sistemas académico-docente y de gestión, aunque sea conveniente que participen miembros de la comunidad profesional de la ingeniería (en este caso, ambiental sanitaria), parece que por la naturaleza de los sistemas sería más adecuado que sean especialistas en tecnologías sociales (pedagogía, organización...) quienes tengan esa responsabilidad.

diferencia del de investigación, tiene como uno de sus *inputs*, un objeto, artefacto o proceso que ya forma parte de un sistema técnico, y por tanto es tecnológicamente operativo. La innovación es una mejora sobre un objeto o proceso, sobre una invención ya existente.

Ese punto de partida más determinado de la innovación le permite avanzar con mayor certidumbre, mediante acciones creativas de diseño y elaboración de prototipos evaluables, hacia ese incremental de valor que es el resultado pretendido de la actividad. Una vez innovado el objeto o proceso, puede ser objeto de protección –por ejemplo, mediante un modelo de utilidad– previa a su incorporación al mercado de bienes y servicios, incorporándose típicamente a alguno de los cinco sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

La descripción y representación de este subsistema praxiológico de innovación (i) para el cambio en ingeniería ambiental sanitaria (*SPRA-CINias*) sigue una estructura similar a la del anterior subsistema. Se presentan dos capas, en la que domina lo conceptual (superior) y en la que destaca lo material (inferior). El punto de partida, como *inputs* conceptuales, está en la noción de ‘mejora’ de los elementos disponibles de los sistemas conceptuales ingenieriles. Como *inputs* materiales, el fundamental es el objeto preexistente (producto en mercado) que pretende ser mejorado mediante la función praxiológica de innovación, además de los objetos y materiales de contexto del producto a mejorar.

La función praxiológica de innovación se desencadena a partir de la voluntad de los agentes de la comunidad profesional ingenieril de investigación (COPIas) de producir una modificación o cambio a partir de un producto o sistema técnico existente, de modo que se mejoren sus características. Continuando con los ejemplos del subsistema anterior, algunas de las líneas de innovación⁶⁶¹ en sistemas técnicos de drenaje de agua de escorrentía serían: i) control de los flujos (caudales y contaminación) de las aguas de escorrentía en origen mediante técnicas de drenaje urbano sostenible (TDUS); ii) caracterización y tratamiento de las escorrentías de autopistas y viales con alta intensidad de tráfico. O, para el caso de los sistemas técnicos de saneamiento y depuración de aguas residuales, podrían destacarse líneas de innovación sobre: i) procesos biopelícula convencionales (lechos sumergidos aireables, biodiscos, lechos bacterianos, etc); ii) nuevos procesos biopelícula: reactores de membrana aireada; iii) procesos híbridos: biopelícula integrada con fangos activos; o iv) humedales artificiales para el saneamiento y depuración en el medio rural.

Para ello, a través de los lenguajes (natural, formal) y sistemas gráficos de la ingeniería se opera con los elementos de los sistemas conceptuales para promover transformaciones materiales conformes a los resultados perseguidos. El punto de partida (t_0) es entonces el producto de mercado y sus características, en relación con la mejora del mismo.

Para iniciar el proceso los agentes de COPIas realizan las acciones de diseño de innovación, en donde dominan los conocimientos ingenieriles primarios, y se aplican también métodos de prueba y error, orientados hacia unos determinados valores tecnológicos ingenieriles (como valores-objetivo). Esto marca una distancia con la función praxiológica de investigación, ya que el punto de partida y los objetivos están más determinados desde el principio del proceso.

En un determinado momento (t_1) las acciones de diseño de innovación permiten disponer, como estado de cosas, de un ‘re-diseño’. El espacio de posibilidades de rediseño del producto

⁶⁶¹ Líneas de investigación específica del grupo GEAMA (Ingeniería del agua y del medio ambiente), Área de ingeniería sanitaria y ambiental, de la Escuela de Caminos de la Universidad de A Coruña. www.geama.org > sanitaria (acceso febrero 2020).

se pone inmediatamente en contacto con las condiciones de contexto de operación del producto, tanto en talleres como en complejos productivos.

Desde este punto se avanza con acciones de naturaleza fundamentalmente conceptual, como son la modelización de las mejoras, en donde entran en juego los conocimientos primarios ingenieriles, así como métodos de cálculo y de representación, orientados a la mejora en relación con determinados valores ingenieriles. En la capa material se produciría la validación práctica, mediante métodos de prueba y error, así como métodos de cálculo, en el marco evaluativo de los valores ingenieriles más destacados. Estas acciones llevarían, en un momento determinado (t_2) a disponer, como estado de cosas, tanto de un modelo innovado como de un prototipo innovado.

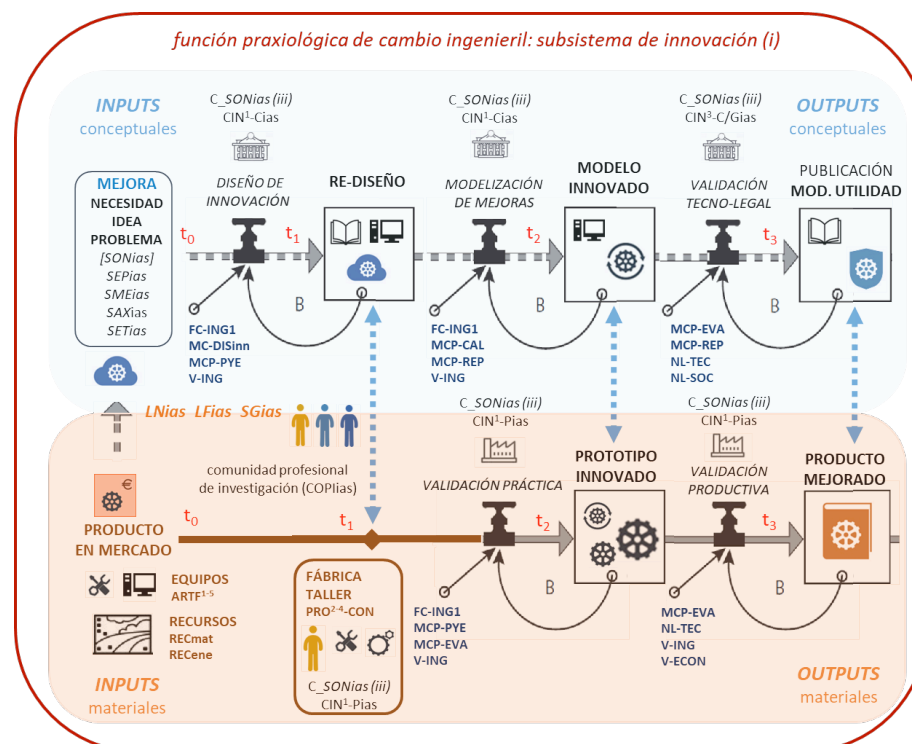


Fig. 7.4.2.c) Sistema praxiológico de cambio en ingeniería ambiental sanitaria: subsistema innovación

A partir de este momento se orientarían las acciones de los agentes (COPIas, COPGias y complejos institucionales) para la validación técnico-legal y la validación productiva. La primera, con métodos de evaluación y representación referidos a las normas legales tecnológicas y del supersistema social, llevarían a disponer de un ‘modelo de utilidad’ o figura similar de protección de la mejora. Por su parte, en la capa material, para la validación productiva los agentes utilizan métodos de evaluación y referencias normativas legales y valores ingenieriles, así como valores económicos, con la finalidad de validar un producto mejorado. Así se alcanza en un momento dado (t_3) un estado de cosas, como resultado final del sistema de innovación para el cambio ingenieril: un producto mejorado protegido mediante la figura de modelo de utilidad.

En este final de la capa conceptual se indica la posibilidad de ‘publicación’ como puesta a disposición de la comunidad profesional ingenieril de investigación, y de otras comunidades tecnológicas y científicas, de parte o la totalidad de los conocimientos teóricos y prácticos obtenidos durante el proceso de innovación ingenieril.

7.4.3 Produciendo: sistema productivo en la ingeniería ambiental sanitaria

El sistema praxiológico productivo de la ingeniería ambiental sanitaria (*SPRA-Pias*) es un sistema funcional (del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria) que da cuenta del sistema de acciones, de la comunidad profesional (productiva) ingenieril (*COPPIas*), intencionalmente orientado a la transformación técnicamente eficiente de estados de cosas (como estados origen o materias primas) para obtener como resultado productos (bienes o servicios) valiosos para la sociedad.

En este punto, lo primero que hay que señalar es que la función productiva en la ingeniería ambiental sanitaria puede remitirse a dos instancias. En primer lugar, a la producción, mediante ensamblaje, de un concreto sistema técnico (de entre los cinco sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria). Y, en segunda instancia, a la producción de los servicios públicos de salud y ecosistémicos que caracteriza a cualquiera de esos sistemas técnicos característicos. Esto puede correlacionarse, en cierto modo (a una escala tal vez mayor), con la diferenciación que hace Quintanilla (2005) entre subsistema de ejecución y subsistema de gestión. En donde el primero correspondería al ensamblaje del sistema técnico (abastecimiento de aguas, saneamiento y depuración de aguas residuales, drenaje de aguas escorrentía urbana, gestión de residuos sólidos urbanos o control de contaminación del aire urbano), mientras que el segundo –subsistema de gestión– correspondería con la operación del sistema técnico ensamblado para conseguir, como resultados, los servicios de bienes de salud pública y ecosistémicos. Aunque, también en este último podrían considerarse a su vez dos subsistemas, por una parte el de ejecución (operación y mantenimiento), y por la otra el de gestión (control) de los procesos y resultados.

En todo caso, la primera instancia productiva (ensamblaje de un sistema técnico) precisa del diseño completo de un proyecto que contemple el conjunto de elementos y disposiciones para el efectivo ensamblaje del sistema técnico.

Esto lleva a considerar, para un completo ciclo teórico productivo de la ingeniería ambiental sanitaria, caracterizada por sistemas técnicos como los cinco citados, la conveniencia de contemplar tres subsistemas praxiológicos productivos: i) subsistema proyectual (diseño del sistema técnico); ii) subsistema constructivo (ensamblaje del sistema técnico artefáctico sobre el toposistema); y iii) subsistema operacional (producción de bienes y servicios característicos del sistema técnico).

7.4.3.1 Subsistema praxiológico de producción (proyectual) en ingeniería ambiental

De acuerdo a lo que ya se visto en el modelo general, voy a plantear el esquema de un sistema praxiológico proyectual productivo en ingeniería ambiental sanitaria (*SPRA-PPRIas*), cuya finalidad es disponer de un proyecto ingenieril completo y detallado con el que proceder a transformar un territorio o toposistema (*SON(iv)-TOPias*) incorporando al mismo un determinado sistema técnico de entre los característicos de la ingeniería ambiental sanitaria: abastecimiento de agua a poblaciones, saneamiento y depuración de aguas residuales, drenaje de escorrentía urbana, gestión de residuos sólidos urbanos o control de contaminación del aire urbano).

Este sistema praxiológico, con las particularidades correspondientes, se acomoda al esquema que ya se ha presentado para los otros dos sistemas praxiológicos intensivos en diseño. En cierto modo, podría decirse que hay una cierta continuidad entre los subsistemas praxiológicos de investigación, de innovación y, finalmente, de proyecto.

Los *inputs* conceptuales, como estado de cosas de partida, están orientados a la consecución final del proyecto (como solución a una necesidad-problema planteado) del

sistema técnico que se trate. Para ello se parte del estado del arte, como elementos de los sistemas culturales epistémico (*SEPIas*), metodológico (*SMEIas*), axiológico (*SAXias*) y ético (*SETias*) de la ingeniería ambiental sanitaria, incorporados a la comunidad profesional ingenieril productiva (COPPIas).

Como ejemplos de esta disponibilidad de elementos teóricos de ‘estado del arte’, para el caso del sistema técnico de saneamiento y depuración de aguas residuales, estarían obras como *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales* de Hernández (2015)⁶⁶². O para el sistema técnico de drenaje de pluviales y escorrentía urbana, la monografía *Gestión de las aguas pluviales* de Puertas, Suárez y Anta (2008)⁶⁶³.

Asimismo, se incluye la conceptualización y representación del territorio objeto de la intervención (*SON(iv)-TOPias*) que, para el caso de la ingeniería ambiental sanitaria es típicamente el medio urbano. En todo caso, los agentes de COPPIas tratan con los elementos de estos sistemas conceptuales a través de los sistemas semióticos puente, que son los lenguajes (naturales, formales y gráficos) de la ingeniería ambiental sanitaria.

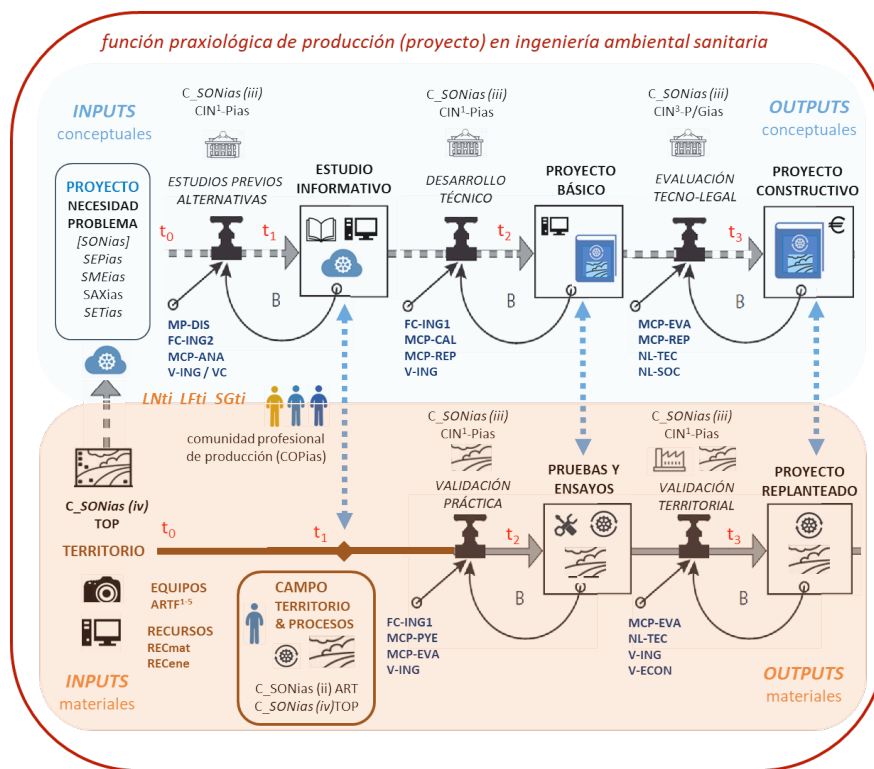


Fig. 7.4.3.a) Sistema praxiológico de producción: subsistema proyectual ingeniería ambiental sanitaria

El proyecto de un sistema técnico, como solución a una necesidad, está íntimamente relacionado con un territorio dado⁶⁶⁴, que se convierte así en el elemento fundamental de entre

⁶⁶² Hernández Lehmann, Aurelio (2015): *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*, Madrid: Ed. Garceta y Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

⁶⁶³ Puertas, Jerónimo; Suárez, Joaquín y Anta, José (2008): *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*, Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX).

⁶⁶⁴ Para Quintanilla, además de las características del sistema técnico, con el diseño puede buscarse que “se adapte al paisaje concreto en el que se va a construir, o a las costumbres de la población que lo va a usar o a las tradiciones culturales arquitectónicas predominantes en el medio, etc., son especificaciones añadidas al proyecto, cuya implementación exigirá un mayor grado de originalidad.” Quintanilla (2005: 123-124).

los *inputs* materiales del sistema praxiológico. En este estado de cosas de partida, se encuentran además los medios materiales (equipos y recursos) necesarios para dar apoyo a tanto a la propia materialidad del proyecto (como documento) como, especialmente, para las correspondientes investigaciones del terreno y elementos materiales de contenido propio del sistema técnico en proyecto.

A partir de estos *inputs*, la comunidad profesional ingenieril de producción (proyectual), con el predominio del tipo de conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2) inicia, mediante métodos de diseño ingenieril de producción, o métodos de diseño de proyectos, las acciones correspondientes a la fase de estudio de alternativas. En donde, de acuerdo a un complejo de especificaciones que responden a valores relevantes (valores tecnológicos ingenieriles, y valores contextuales del territorio), mediante métodos de análisis (MCP-ANA) se realizan los análisis de soluciones alternativas.

En paralelo con esta acción del nivel conceptual, en la capa más material se desarrollan actividades de ‘campo’, con la finalidad de obtener información precisa, fidedigna y actualizada del territorio (binomio territorio-población) y de sus procesos característicos. Una información descriptiva que se realimenta hasta alcanzar, a partir de un determinado momento (t_1), un estado de cosas que se plasma en un documento identificado como ‘estudio informativo’, en donde se presenta el abanico de soluciones posibles, así como una selección crítica de la solución alternativa preferible.

Desde ese estadio, se procede al siguiente conjunto de acciones (básicamente conceptuales) de desarrollo técnico de la solución elegida. Estas acciones suponen incorporar a la solución elegida elementos más propios del conocimiento ingenieril primario (FC-ING1), así como métodos de cálculo (MCP-CAL) sobre elementos técnicos e información económica monetaria, y métodos de representación (MCP-REP) empleados profusamente para la identificación del sistema técnico mediante mapas, planos, diagramas y otros recursos gráficos descriptivos.

También en paralelo, se continúan los trabajos de campo (básicamente materiales) sobre las interacciones de la nueva infraestructura con el territorio y sus proyectos. Esto requiere la realización de pruebas y ensayos detallados (geotécnicos, hidrológicos, ambientales...) que proporcionan información relevante para las acciones de desarrollo del diseño del nuevo sistema técnico. Unas acciones que en un momento dado (t_2) permiten disponer de una representación completa del estado de cosas como ‘proyecto básico’.

Finalmente, las acciones de evaluación técnico-legal del proyecto básico permiten, mediante métodos de evaluación y representación, así como de aplicación exhaustiva de las normas legales técnicas y del supersistema social, definir con detalle suficiente el conjunto de operaciones necesarias para la realización material del sistema técnico en un determinado territorio. Esto posibilita que en un momento t_3 se disponga de un ‘proyecto constructivo’ como estado de cosas, que consiste en un conjunto de determinaciones técnicas (memoria y anexos), referidas espacialmente (planos) y económicamente determinadas (presupuestos), que se consideran suficientes para la ejecución material del proyecto.

En el plano más material, la concreción de este proyecto constructivo aprobado se realiza mediante el replanteo del mismo, que consiste en reproducir en el territorio todo el ámbito de ocupación material del proyecto del nuevo sistema técnico. El estado de cosas que se representa en el ‘proyecto replanteado’ puede considerarse tanto como *output* material del sistema praxiológico proyectual productivo, como uno de los principales *inputs* materiales del sistema praxiológico de producción constructivo.

7.4.3.2 Subsistema praxiológico de producción (constructivo) ingeniería ambiental sanitaria

Puede observarse cómo los *outputs* del anterior subsistema praxiológico productivo de proyecto (*SPRA-PPRias*) van a convertirse en los *inputs* característicos y relevantes del subsistema praxiológico productivo de construcción (*SPRA-PCOias*) del sistema técnico correspondiente. Para representar este subsistema praxiológico voy a seguir la secuencia tipo de elementos: i) *inputs* (conceptuales y materiales); ii) acciones de procesos de incorporación; iii) estado de cosas (inicial hasta final); iv) acciones de procesos transformadores (ejecución y gestión); v) *outputs* (estado de cosas final, como producto resultante). Considero, como en los anteriores, dos capas diferenciadas: la conceptual, en donde las acciones y los estados de cosas se refieren básicamente a conceptos; y la concreta o material, en donde las acciones y los estados de cosas se refieren fundamentalmente a objetos materiales.

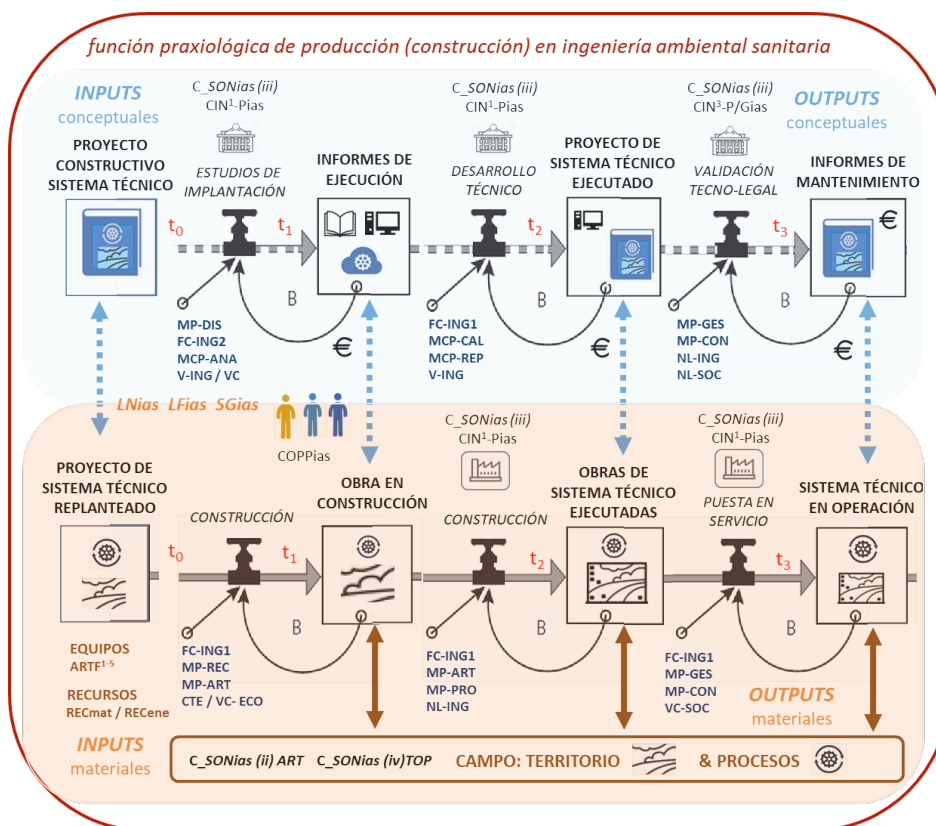


Fig. 7.4.3.b) Sistema praxiológico de producción: subsistema constructivo ingeniería ambiental sanitaria

Entonces, a partir del estado de cosas inicial, del proyecto constructivo del sistema técnico – en relación con el proyecto replanteado sobre el territorio– la comunidad profesional ingenieril de producción (COPPIas), impulsada por el complejo institucional de producción (CIN¹-Pias) y el complejo institucional de gestión correspondiente (CIN-Gias)⁶⁶⁵, desarrolla las acciones correspondientes para la materialización del proyecto diseñado. En la capa más conceptual, se realizan los estudios de implantación del proyecto constructivo, empleando métodos de diseño de producción (MP-DIS), con un uso predominante del fondo de

⁶⁶⁵ Según el concreto sistema técnico de que se trate, pudiendo ser habitualmente: administración local, administración hidráulica o administración ambiental.

conocimiento ingenieril secundario (FC-ING2), atendiendo al uso de métodos de cálculo sobre los elementos proyectados, y teniendo en cuenta especialmente valores ingenieriles y valores contextuales como los económicos. Por esto la información pragmática de naturaleza económica monetaria adquiere una destacada notoriedad en todo este subsistema praxiológico productivo de construcción y operación, de ahí que en el gráfico aparezcan representaciones simbólicas de dinero.

En paralelo, la comunidad profesional ingenieril de producción (a través de las subcomunidades especializadas en la construcción), inicia los procesos materiales de transformación del territorio. Para esta subfunción productiva (construcción) puede afirmarse que la capa material es la más relevante. Así, además del proyecto replanteado sobre el territorio, que considero uno de los *inputs* materiales, se encuentran también los artefactos de transformación, y las materias primas (materiales y energéticas). También hay que destacar que la transformación pretendida se realiza en el ‘campo’ sobre un territorio y procesos preexistentes. De ahí que en la capa material, por debajo de la línea de acciones/estado de cosas, represente el territorio y sus procesos, por lo general, un medio urbanizado.

Las acciones de transformación material se realizan mediante métodos productivos orientados a los recursos (MP-REC), tanto recursos energéticos como recursos materiales. Unos métodos que se combinan con los métodos productivos orientados a los artefactos (MP-ART), en este caso a la construcción de infraestructuras, redes e instalaciones. Tanto los MP-REC como los MP-ART, donde es relevante el conocimiento ingenieril primario (FC-ING1), están relacionados conceptualmente con las disposiciones del proyecto constructivo, y con la cultura ingenieril incorporada por la comunidad profesional ingenieril de producción.

A partir de un momento (t_1) el estado de cosas es una determinada ejecución parcial de la obra que denomino ‘obra en construcción’, como podrían ser también los distintos estados de ejecución parcial que se consideran hitos relevantes, por ejemplo en la construcción de una infraestructura hidráulica lineal⁶⁶⁶. Este estado de cosas, respecto al proyecto, está relacionado con la transformación física del territorio y la interacción con los procesos preexistentes. En cuanto a la capa predominantemente conceptual, estos estados se reflejarían en lo que denomino genéricamente como ‘informes de ejecución’, en donde como mínimo se da cuenta del grado de cumplimiento (y en su caso desviaciones) respecto al proyecto en sus aspectos técnicos, temporales (respecto al cronograma de previsiones) y económicos.

Desde este estadio intermedio de construcción, continúan las acciones, bien las predominantemente conceptuales, que requieren acciones de desarrollo técnico, como pueden ser de diseño específico o complementario, con métodos de cálculo (MCP-CAL) y métodos de representación (MCP-REP), con la predominancia de los valores y complejos de valores tecnológicos e ingenieriles. En correspondencia, continúan las acciones, predominantemente materiales, de transformación del territorio mediante la construcción, empleando no sólo métodos productivos orientados a los artefactos (MP-ART), sino ya –más avanzada la construcción– métodos productivos orientados a la puesta en servicio del sistema técnico⁶⁶⁷.

⁶⁶⁶ Estas fases de construcción podrían ser: 1) explanaciones y movimientos de tierra; 2) estructuras, obras de fábrica y drenajes; 3) equipos e instalaciones; y 4) obras y trabajos auxiliares. Una vez terminada la ejecución material del sistema técnico se procede con la fase de ‘puesta en servicio’ antes de la entrega efectiva del sistema al complejo institucional productivo para su completa operatividad.

⁶⁶⁷ Por lo normal, la construcción de sistemas técnicos como los de abastecimiento de aguas, o saneamiento y depuración de aguas residuales, de drenaje urbano, de gestión de RSU (plantas de tratamiento) o control de contaminación del aire urbano, incluyen, una vez ejecutada la obra, la correcta puesta en marcha de los equipos e instalaciones hasta verificar (en un período de uno o dos años) el desempeño adecuado del sistema técnico. Por este motivo incluyo esta fase como fase final del subsistema constructivo, y será entonces el punto de partida del siguiente, del subsistema operativo.

Esto lleva en un momento determinado (t_2) a disponer de una construcción como resultado de la ‘obra ejecutada’, que puede considerarse como el estado de cosas objetivo de todo el proceso productivo, desde la concepción original hasta el diseño final, a través de todas las interacciones de transformación y con el medio de actuación (territorio y procesos). Esa obra ejecutada se puede representar mediante el ‘proyecto ejecutado’ como documentación informativa que describe el estado de cosas (obra) coincidente con la realidad.

A partir de este momento, la obra ejecutada se pone en servicio, de modo que se dan todos los pasos tanto en lo material como en el dominio conceptual, para su efectiva puesta en servicio. En este último caso, se requiere la validación técnico-legal, de modo que las especificaciones y condiciones sean conforme a lo previsto, mediante acuerdo a criterios y métodos de gestión (MP-GES) y de control (MP-CON). Estas acciones llevan, en un momento dado (t_3) a un estado de cosas fundamental, como *output* de la función praxiológica constructiva, que es el ‘sistema técnico en operación’.

7.4.3.3 Subsistema praxiológico de producción (operación) en ingeniería ambiental

El subsistema funcional praxiológico de producción operativo de la ingeniería ambiental sanitaria (*SPRA-POPias*) es el último de la secuencia y es el estadio final en que se materializa el objetivo último de la función productiva, como es la provisión de servicios de salud pública y ecosistémicos (suministro de agua potable, evacuación y depuración de aguas residuales previo su vertido al medio receptor, gestión sostenible de aguas de escorrentía urbana, gestión segura y eficiente de residuos sólidos urbanos, y control y protección de la calidad del aire urbano).

He considerado que esta subfunción praxiológica puede dividirse en tres estados de cosas: el de los *inputs*, que serían el sistema técnico en operación; un proceso interno que puede caracterizarse como interno al hecho ingenieril, como es la mejora continuada del sistema técnico; y finalmente como *outputs*, los servicios públicos de producción de bienes de salud pública y ambientales.

Se parte entonces de *inputs* conceptuales (sistema técnico en operación validado) e *inputs* materiales (sistema técnico operativo), que es el *output* del subsistema praxiológico productivo constructivo (*SPRA-PCOias*). Los dos *inputs* están interrelacionados fundamentalmente a través de flujos de información descriptiva que manejan miembros de la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria. A partir de este estado de cosas podrían producirse los bienes objeto de los sistemas técnicos (servicios públicos de salud y ecosistémicos), que son el objetivo final de todo el sistema funcional praxiológico productivo, pero también la razón de ser última de todo el sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria. Sin embargo, esta resultaría ser una visión limitada y estática de la funcionalidad del sistema técnico. Porque un sistema técnico de este tipo (p.ej. de abastecimiento de agua a población) está relacionado e influido por numerosas cuestiones (técnicas, de conocimientos disponibles, de incertidumbre en la provisión de recursos hídricos, de gobernanza y gestión, económicos...) que están cambiando a lo largo del tiempo⁶⁶⁸.

Por este motivo, he incluido un estado intermedio que llamo ‘mejoras en el sistema técnico’ que se entiende como el resultado parcial de un conjunto de acciones incorporadas

⁶⁶⁸ A diferencia de la duración en el tiempo de la subfunción productiva de proyecto (1-3 años), o de la subfunción productiva constructiva (3-5 años), la vida útil de un sistema técnico implementado de los característicos de la ingeniería ambiental sanitaria se mide en décadas (a veces incluso en siglos) puesto que son funciones por completo vinculadas a la ciudad, y por tanto prácticamente ilimitadas en el tiempo.

que tienen como objetivo la actualización y optimización de los medios y resultados finales deseados de producción del sistema técnico.

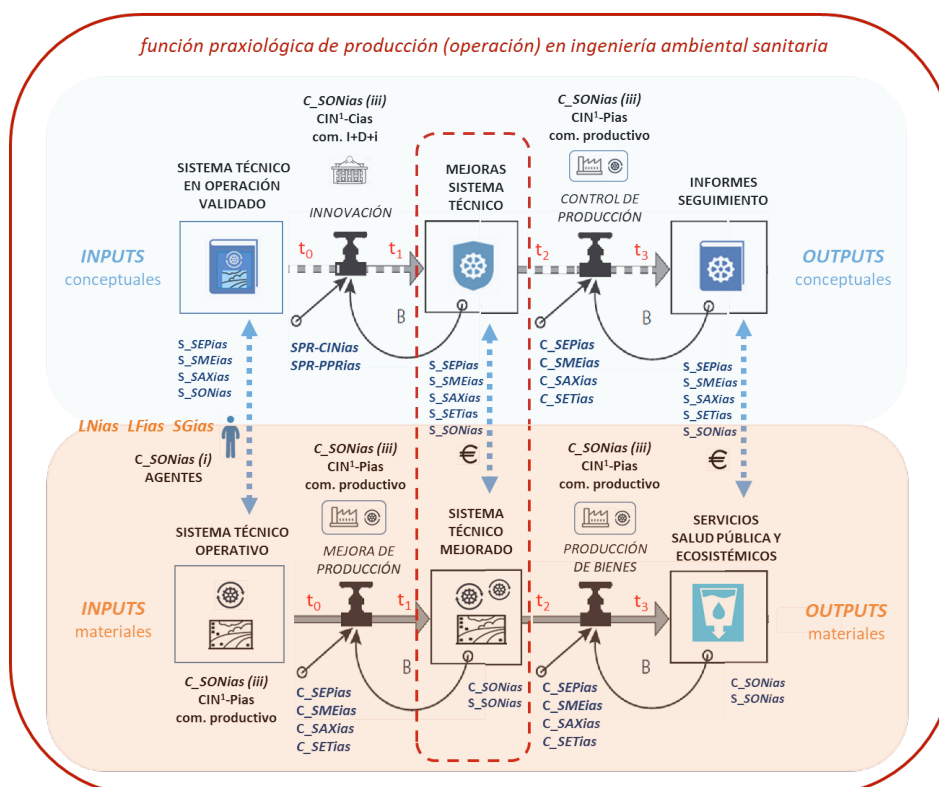


Fig. 7.4.3.c) Sistema praxiológico de producción: subsistema operativo de ingeniería ambiental sanitaria

Las acciones para ese estado de ‘mejora de sistema técnico’ se desarrollan por la comunidad profesional ingenieril de I+D+i, así como por la comunidad ingenieril de producción (proyectos) del complejo institucional productivo, mediante acciones de ‘mejora de la producción’. Estas acciones se realizarían de forma continuada, conduciendo al estado material de ‘sistema técnico mejorado’ en un momento dado (t_n).

Este sistema técnico (mejorado continuamente) es el que, gracias a las acciones de producción de bienes, de las que responde el complejo institucional productivo (CIN¹-POPIas), genera los servicios de provisión de bienes de salud pública y ecosistémicos. Esta producción de bienes tiene, en la parte conceptual, el correlato de las acciones de control de la producción y estado de informes documentados de seguimiento (controles de producción, controles de parámetros de calidad del agua...) ⁶⁶⁹ como parámetros relevantes que corresponden a los productos característicos de cada uno de los cinco sistemas técnicos (abastecimiento de aguas a población; saneamiento y depuración de aguas residuales, gestión de drenaje urbano, gestión de residuos sólidos urbanos, y control de calidad de aire urbano), respectivamente: un volumen de agua potable para abastecimiento (en calidad y cantidad) de poblaciones; un volumen vertido de aguas residuales tratadas compatible con la calidad y

⁶⁶⁹ El control de la producción es un control interno del sistema funcional praxiológico productivo que se ejecuta, de forma normal, por agentes del complejo institucional productivo (CIN¹-PIas). Este control se diferencia de aquellos que forman parte del sistema funcional praxiológico de gestión y control en tanto en esos los controles se llevan a cabo típicamente por agentes del complejo institucional de gestión, bien de nivel 1 o de nivel 3 (CIN¹⁻³-GIas).

equilibrio ecosistémico del medio receptor; una gestión eficiente y segura de volúmenes de aguas pluviales de escorrentía en la superficie del medio urbano; un volumen de recogida y tratamiento de residuos sólidos urbanos para su reaprovechamiento y eliminación final segura; control y reducción de contaminación del aire en un medio urbano.

7.4.4 Control: sistema praxiológico de gestión de ingeniería ambiental sanitaria

El sistema funcional praxiológico de gestión y control de la ingeniería ambiental sanitaria (*SPRA-Gias*) se aparta de los anteriores sistemas praxiológicos (académico, de cambio ingenieril y de producción) que están limitados a funciones más específicas. El sistema de gestión tiene que dar cuenta fundamentalmente de funciones que superan el ámbito de otros procesos praxiológicos, y del control en sentido amplio (*cfr.* Broncano, 2005).

Por este motivo, la representación del sistema praxiológico de gestión y control, se parece más a la representación esquemática general de los sistemas praxiológicos. Un ejemplo claro de los procesos del sistema praxiológico de gestión y control puede ser la incorporación de una determinada nueva actividad (un nuevo sistema de abastecimiento de aguas, por ejemplo) al sistema productivo sectorial. Esto viene a ser el paso desde un complejo institucional productivo de nivel 1 (CIN^1 -Pias) para incorporarlo y mantenerlo en un sistema institucional de producción (CIN^3 -Pias) y, por ende, en un sistema institucional de gestión (CIN^{1-3} -Gias).

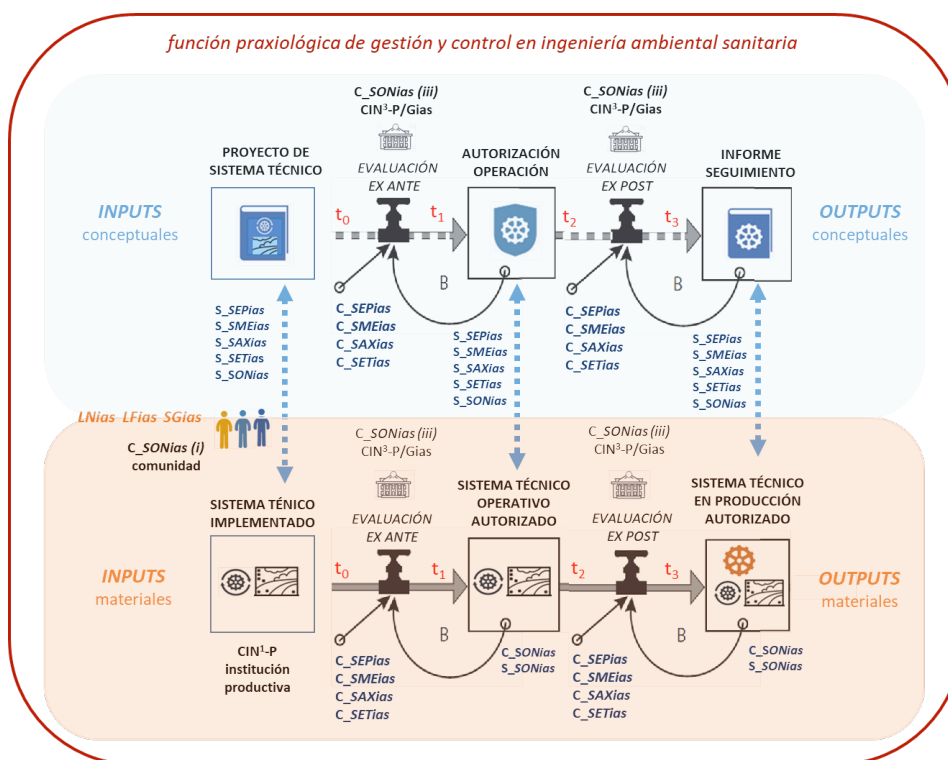


Fig. 7.4.4.a) Sistema praxiológico de gestión y control de ingeniería ambiental sanitaria

El punto de partida son los *inputs* conceptuales, fundamentalmente el documento 'proyecto de sistema técnico', generado de acuerdo a la subfunción praxiológica productiva de proyectos (*SPRA-PPRias*) por parte del complejo institucional productivo de primer nivel (CIN^1 -P). A partir de un determinado momento (t_0), los agentes directivos se relacionan con componentes del nivel 3 del complejo institucional (CIN^3 -P/Gias) para incorporar al nuevo sistema técnico dentro del complejo institucional de producción y de gestión. Esto requiere de acciones

(evaluación *ex ante*) por parte de ese complejo institucional se hace para pasar a un nuevo estado de cosas, en donde la industria construida dispone de las condiciones de autorización para operar (y por tanto incorporarse) al sistema productivo sectorial.

Desde entonces, el complejo institucional de nivel 3, a través del sistema institucional de gestión correspondiente, como administración sectorial competente (una consejería de medio ambiente, por ejemplo), inicia la tramitación de autorización, que se caracteriza genéricamente por procesos de evaluación *ex ante* (previos al funcionamiento) tanto en el ámbito conceptual (a través de las comprobaciones en soporte documental), como del sistema técnico, en cuanto a su configuración, instalaciones y dispositivos. En ambos casos se articulan diversos componentes de los cuatro sistemas conceptuales ingenieriles, que responden a la naturaleza esencialmente evaluativa (*ex ante*), en particular de los sistemas metodológico y axiológico.

A partir de un momento (t_1) determinado, el estado de cosas conjugado sería, siguiendo el ejemplo, el de un 'sistema técnico operativo autorizado'. Por tanto, de un complejo institucional productivo que se incorpora a un nivel óntico superior, el del sistema institucional productivo, en donde comparte espacio institucional (y operativo) con el resto de los complejos productivos existentes. A partir de entonces, el sistema técnico incorporado, bajo una autorización que legitima su actividad, inicia su vida productiva. Una vida productiva que está condicionada, por el hecho de su incorporación a ese determinado sistema institucional productivo ingenieril (CIN³-Pias), al cumplimiento de un conjunto de obligaciones de diferentes aspectos, no solamente del propio sistema técnico, sino también de otros sistemas de entorno, señaladamente el supersistema social, que son de tipo legal, ambiental, de seguridad y salud, o laborales, por citar sólo algunos de los marcos de desarrollo de la actividad productiva.

Esta vida útil del sistema técnico operativo autorizado es objeto de evaluación *ex post*, para verificar a lo largo del tiempo la adecuación de los procesos y productos a las condiciones de autorización. Esto se produce en determinados momentos (t_2) en donde el agente complejo institucional del sistema de gestión (CIN³-Gias) está procediendo a la evaluación para evacuar los 'informes de seguimiento' respecto al sistema técnico en producción, como estado de cosas en un determinado corte temporal (t_3). Este es el punto final, objetivo, como *output* que se considera para esta concreta función praxiológica de gestión de la incorporación de un sistema técnico al complejo institucional de sistemas técnicos equivalentes.

En este ejemplo se ha mostrado un caso de entre los muchos posibles de gestión y control de este sistema funcional praxiológico. Pueden comprenderse entre esos también, por ejemplo los de gestión y control de: calidad y adecuación a resultados de la función praxiológica académica; gestión de niveles medios y altos de los complejos institucionales de cambio y de producción en ingeniería ambiental sanitaria; o todo el conjunto de procesos de autorización (en sentido amplio) y control de diferentes niveles de complejidad de los sistemas técnicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

Para poner de manifiesto la amplitud del sistema funcional praxiológico de gestión de la ingeniería ambiental sanitaria (SPRA-Gias), puede concluirse este apartado con un ejemplo sobre acuerdos institucionales globales del más alto nivel (CIN⁴-P/Gias) como son los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de Naciones Unidas (ONU). En concreto con el objetivo 6 (agua limpia y saneamiento) relacionado con la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. En este caso, se entiende que sería de interés plantear las metas temáticas (6) desde la perspectiva de sistemas funcionales praxiológicos de gestión para aproximar un modelo teórico para, en correspondencia con las metas, y para el ámbito

territorial considerado, llegar a: lograr el acceso al agua potable en condiciones de seguridad y a un precio asequible (meta 6.1); lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene y poner fin a la defecación al aire libre (meta 6.2); mejorar la calidad del agua, el tratamiento de las aguas residuales y su reutilización sin riesgos (meta 6.3); aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos y asegurar el abastecimiento de agua dulce (meta 6.4); implementar la gestión integrada de los recursos hídricos (meta 6.5); y proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua (meta 6.6.).

7.5 SISTEMAS Y TIEMPO: HISTORICIDAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA

Como ya se puso de manifiesto para el modelo de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería, se ha venido realizando un análisis sistemista sincrónico, referido a la situación actual (siglo XXI), pero estática. Sin embargo, no puede dejarse de reconocer que los sistemas tienen historia y lo importante que resulta, como ha señalado Bunge [1979](2012), incorporar la dimensión temporal de los sistemas para completar su conocimiento.

Esto lleva a la conveniencia de incluir un análisis diacrónico, tanto cinemático, en donde se dé cuenta de la estructura de cambio de los sistemas, como dinámico, en donde se tengan en cuenta las causas, fuerzas, poderes y motivaciones del cambio. El análisis cinemático puede aproximarse a partir de la historia (sobre una flecha temporal) de los componentes, de los sistemas, y del total del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria. Lo que realizo en ese primer apartado de ‘historia general’ de la ingeniería ambiental sanitaria.

Por otra parte, planteo la posibilidad de un análisis diacrónico dinámico, de la historicidad (cambio *con* el tiempo) que puede atender tanto a cada uno de los sistemas (óntico, semióticos, epistemológico, metodológico, axiológico, ético y praxiológicos) como al conjunto del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria. Lo que, para esta última, desarrollo en el segundo apartado.

Finalmente, incluyo una representación completa de lo que podría considerarse como momento actual o presente (s. XXI) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (*S²INGas*).

7.5.1 Historia general del sistema complejo de ingeniería ambiental sanitaria

Desde la primera revolución industrial, la actividad de la ingeniería sufre cambios relevantes, entre los que pueden destacarse cómo la propia ingeniería adquiere identidad y autonomía⁶⁷⁰, su acoplamiento progresivo con la actividad científica y su estrecho vínculo con el programa económico transformador de la revolución industrial⁶⁷¹.

La tecnología ingenieril, que en el siglo XVIII asiste a la segregación de la ingeniería civil de la ingeniería militar, también observa la aparición de una nueva disciplina diferente⁶⁷² como es la de la ingeniería mecánica, fabril o industrial aplicada por los manufactureros. Esta es una cuestión relevante, por cuanto, ya fuera ambas del campo militar, la ingeniería civil se ocupa en sus orígenes fundamentalmente de la construcción de infraestructuras de transporte y comunicación (camino, canales, vías férreas, puertos...), mientras que la ingeniería industrial se centra en motores, máquinas y sistemas de producción fabril.

Esas dos grandes ramas ingenieriles (civil e industrial) presentan diferencias notables en aspectos ontológicos, epistemológicos, metodológicos y axiológicos, al menos. Por ejemplo, en relación con el medio o territorio, puede afirmarse que para la ingeniería civil el territorio es un elemento determinante, tanto como objeto cuanto como medio de desarrollo de la actividad constructiva. En cambio, para la ingeniería mecánica el territorio es un elemento prácticamente indiferente, excepto en que se convierte en un lugar sobre el que se ubica una

⁶⁷⁰ Para Ortega y Gasset (1939: 33), en este período, al dejar en último término la máquina al artesano, se produce un reposicionamiento de las relaciones entre los seres humanos y la técnica, de modo que, al convertirse la fábrica en un artefacto independiente: “consecuencia de ello fue que el técnico y el obrero, unidos en el artesano, se separasen, y al quedar aislado se convirtiese el técnico como tal en la expresión pura, viviente, de la técnica como tal: en suma, el ingeniero.”

⁶⁷¹ Ortega y Gasset en *La rebelión de las masas* (1926), en el cap. XII “La barbarie del ‘especialismo’” sostiene que “la técnica contemporánea nace de la copulación entre el capitalismo y la ciencia experimental”.

⁶⁷² Una disciplina que, en mi opinión, puede surgir de la combinación entre la fabricación de materiales y artefactos militares –por una parte– con las exigencias técnicas y económicas de las actividades mineras. A este respecto, probablemente la ingeniería minera pueda considerarse como un espacio disciplinar entre la ingeniería civil y la ingeniería fabril o industrial.

actividad industrial que, a estos efectos es como una caja negra. Una caja negra en donde entran materias primas, energía y fuerza laboral, y de la que salen los productos, así como residuos (humos, productos químicos, aguas residuales, escorias, residuos sólidos...) que tardarán muchas décadas en convertirse en una preocupación de la ingeniería. En cierto modo, podría decirse que la ingeniería sanitaria viene a ser una especificación de la ingeniería civil con el objeto, en gran medida, de resolver algunos de los problemas generados por la industrialización (contaminación y sobrepoblación urbana).

Las obras básicas de saneamiento general de poblaciones surgen a principios del siglo XIX, como una reacción de los estamentos públicos y sanitarios, preocupados ante las tasas altas de mortalidad y la baja esperanza de vida de los habitantes en las aglomeraciones urbanas. Para mejorar las condiciones higiénico-ambientales de estas aglomeraciones humanas, se proyectan y se financian importantes obras. La ejecución de estas primeras obras de ingeniería sanitaria (abastecimientos, drenajes y alcantarillas) se realiza por profesionales de la ingeniería civil, con experiencia en el drenaje de obras lineales como ferrocarriles, lo que motiva que la naciente comunidad de la ingeniería sanitaria gravite alrededor de la importante rama de la ingeniería civil.

Poco antes, a partir de mediados del siglo XVIII, se está entrando en el estadio de la “técnica del técnico” (*cfr.* Ortega, 1939) o en la fase paleotécnica (*cfr.* Mumford, 1934, 1961), cuando se asiste al comienzo de la primera revolución industrial. La actividad de la ingeniería sufre cambios relevantes, entre los que pueden destacarse cómo la propia ingeniería adquiere identidad y autonomía⁶⁷³, su acoplamiento progresivo con la actividad científica y su estrecho vínculo con el programa económico transformador de la revolución industrial⁶⁷⁴.

Las diferencias sustanciales entre la ingeniería civil e industrial aconsejan que, a la hora de hablar de ingeniería o de tecnología ingenieril, sea conveniente precisar a cuál de estas dos grandes ramas ingenieriles nos referimos. Esto se observa bien cuando se revisan, como se ha visto más arriba, la historia de las reflexiones filosóficas sobre la tecnología ingenieril, cuando estas reflexiones se aplican al ámbito ingenieril. Por ejemplo, los antecedentes tempranos de Babbage (1832) o Ure (1835) están claramente en la órbita disciplinar de la ingeniería mecánica o fabril, mientras que obras posteriores como Kapp (1877) se encontrarían en la órbita de la ingeniería civil.

En esto se nota cómo los grandes apartados de la evolución histórica de la actividad ingenieril están en correspondencia también con los hitos de modificación de la reflexión tecnológica. Por ejemplo, la coincidencia del inicio de esta historia a mediados del siglo XVIII, cuando se produce el comienzo del período paleotécnico (*cfr.* Mumford, 1934; 1961). En este sentido es muy importante señalar en qué medida la evolución de la ingeniería civil está vinculada no solamente a progresos tecnológicos, sino también al cambio en modelo económico (social y productivo) y, subsecuentemente, el cambio en los escenarios urbanos. También, y a pesar del énfasis que he puesto en las diferencias entre la ingeniería civil y la ingeniería fabril, no puede ignorarse la interrelación entre los avances y resultados de ambas actividades, muy especialmente en la construcción del complejo urbano-industrial sobre el territorio.

⁶⁷³ Para Ortega y Gasset (1939: 33), en este período, al dejar en último término la máquina al artesano, se produce un reposicionamiento de las relaciones entre los seres humanos y la técnica, de modo que, al convertirse la fábrica en un artefacto independiente: “consecuencia de ello fue que el técnico y el obrero, unidos en el artesano, se separasen, y al quedar aislado se convirtiese el técnico como tal en la expresión pura, viviente, de la técnica como tal: en suma, el ingeniero.”

⁶⁷⁴ Ortega y Gasset en *La rebelión de las masas* (1926), en el cap. XII “La barbarie del ‘especialismo’” sostiene que “la técnica contemporánea nace de la copulación entre el capitalismo y la ciencia experimental”.

Así, la actividad que se denominará ingeniería sanitaria aparece históricamente como la aplicación de la ingeniería civil para resolver problemas sanitarios, así como a la prevención de las causas de enfermedades que producían grandes estragos entre la población, es decir, las epidemias. Enfermedades que han sido principalmente, bien directa o indirectamente, de transmisión hídrica. De aquí la gran importancia que ha tenido y tiene todo lo relacionado con el agua, y por lo tanto la importancia, desde sus albores, de conocimientos como la química⁶⁷⁵ y de la hidráulica en la ingeniería sanitaria.

Las obras de abastecimiento de aguas y de saneamiento de poblaciones se conforman, a partir del siglo XIX, como la combinación de las operaciones propias de la ingeniería civil enfocadas a la resolución de problemas que afectan a la higiene o salud pública. Por lo tanto, los antecedentes hay que buscarlos en ese espacio de convergencia. Así, pueden encontrarse a lo largo de la historia del ser humano numerosas obras o realizaciones⁶⁷⁶ que actualmente podrían denominarse obras de ingeniería sanitaria. En una etapa temprana, la ingeniería de higiene se dirige al entorno más próximo del ser humano que se está aglomerando (vivienda, trabajo, ciudad)⁶⁷⁷ para preservar su salud, intentando prever las consecuencias de sus acciones y de la actividad humana en general, sobre dicho ambiente. En definitiva, intenta crear un ambiente artificialmente protegido donde vivir sin que sus propios residuos le sean perjudiciales.

Una cuestión nodular a la ingeniería sanitaria es, junto a su pertenencia a la familia de la ingeniería civil, su coparticipación y dependencia de aspectos técnicos y científicos higiénico-biológicos, hasta el punto de que los cambios de paradigma de los procesos de transmisión de enfermedades (de la teoría miasmática a la teoría microbiológica) tienen un reflejo sensible en la evolución de la práctica ingenieril que acabará configurando la ingeniería sanitaria, como ha puesto de manifiesto Melosi (1996) cuando considera como períodos diferentes en la evolución de la ingeniería sanitaria⁶⁷⁸ los que denomina “ingeniería sanitaria en la Era de las miasmas”, o la “ingeniería sanitaria tras la revolución bacteriológica”. Unos períodos que no están formalizados, pero que me permiten, después de explorar con un cierto detalle la conformación de la moderna ingeniería civil (hasta mediados del siglo XIX), abordar las prácticas ingenieriles de saneamiento municipal durante la teoría miasmática (hasta finales del siglo XIX), y pasar finalmente a la práctica de la ingeniería civil para el saneamiento de poblaciones bajo la teoría microbiológica (desde finales del siglo XIX).

⁶⁷⁵ Esta concurrencia de conocimientos científicos y técnicos convocó en la ingeniería sanitaria, desde su origen, a prestigiosos personajes con amplios intereses tecno-científicos, como es el caso de Lavoisier, quien tuvo un papel clave para el abastecimiento de agua a la ciudad de París a finales del siglo XVIII.

⁶⁷⁶ Resulta frecuente que los manuales de ingeniería sanitaria hagan una suerte de recorrido histórico por algunos ‘hitos técnicos’ que jalonan la historia ingenieril desde la antigüedad. Este tipo de recorridos suelen ser enumerativos y descriptivos de eventos o de obras, como puede verse en Rodríguez Miranda, J.P., “Aspectos históricos del desarrollo de la ingeniería sanitaria y ambiental en el ámbito local, regional y mundial”, 2010. Sin embargo, como se ha mostrado desde el principio, las consideraciones históricas que realizo se ciñen básicamente a la historia de esta ingeniería en Europa occidental y Norteamérica desde mediados del siglo XVIII hasta el presente.

⁶⁷⁷ Puede verse, por ejemplo, el trabajo de Buj (2003) “La vivienda salubre, el saneamiento de poblaciones”, que se refiere a las aportaciones de la ingeniería sanitaria española a principios del siglo XX como medida defensiva ante los problemas derivados de la aglomeración urbana, y como complemento de las nuevas técnicas que se incorporan a los ámbitos urbanos: lámpara eléctrica, fonógrafo, ascensor, teléfono, o calefacción. Ref. Buj, A., “Las vivienda salubre. El saneamiento de poblaciones (1908) en la obra del ingeniero militar Eduardo Gallego Ramos”, *Scripta Nova, Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, Vol. VII, núm. 146(012), 1 de agosto de 2003, 15 pp.

⁶⁷⁸ Melosi (1996) se refiere de forma genérica al término ‘ingeniería sanitaria’ para explicar el proceso de transformación de las actividades ingenieriles de saneamiento urbano en el siglo XIX, aunque todavía no se haya conformado el término ‘ingeniería sanitaria’. Por esta razón, he preferido no utilizar la expresión ‘ingeniería sanitaria’ hasta que propiamente puede considerarse una disciplina formada, lo que ocurre a principios del siglo XX.

Un período en donde los cambios no solamente responden a este cambio de paradigma científico (microbiológico), sino también a modificaciones técnicas materiales (aparición del W.C., tipos de tuberías...), así como a la gestión de las aguas de abastecimiento y del saneamiento, y nuevos modelos de desarrollo urbano. Un conjunto de cambios que llevarán, a principios del siglo XX, a poder hablar propiamente de la ingeniería sanitaria como disciplina ingenieril.

Entiendo que la contribución a este proceso de clarificación de la historia de la ingeniería ambiental sanitaria puede estar representada por una propuesta sintética de las fases (y contenidos de las mismas) más relevantes, a partir del conjunto de la información disponible. Si bien es cierto que ya hay algunas propuestas de fases de la historia de la ingeniería sanitaria, debidas especialmente al historiador Melosi, lo cierto es que estas etapas (era de las ‘miasmas’, revolución bacteriológica y la ecológica), aún a pesar de su plasticidad y apoyo epistemológico (especialmente para la ‘revolución bacteriológica’) estarían todavía lejos de formar un andamiaje histórico que ayude a explicar la formación de la ingeniería como especialidad autónoma, su consolidación, la expansión tecnológica de la primera mitad del siglo, y –una vez reconocido el impacto del ambientalismo a partir de los años setenta- la revisión y estado de la ingeniería sanitaria a principios del siglo XXI, un nuevo siglo dominado por retos como el desarrollo sostenible ante el cambio climático global.

Por tal motivo, en esta fase de elucidación, a partir de los estudios de antecedentes y del estado actual, así como en consideraciones basadas en el modelo de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería ambiental sanitaria, presento una propuesta tentativa, sintética de historia y fases para la ingeniería ambiental sanitaria: i) nacimiento de la moderna ingeniería civil (s. XVIII-XIX); ii) ingeniería para el saneamiento urbano bajo la teoría miasmática (mediado s. XIX); iii) saneamiento urbanístico y teoría microbiológica (de mediados a finales s. XIX); iv) construcción de la ingeniería sanitaria para la ‘ciudad sanitaria’ (hasta mediados s. XX); v) el giro ecológico de la ingeniería sanitaria (hasta finales s. XX); y vi) ingeniería ambiental sanitaria y sostenibilidad urbana (s. XXI).

7.5.1.1 Nacimiento de la moderna ingeniería civil (s. XVIII – mediados s. XIX)

Es durante siglo XVIII cuando se empiezan a demarcan los territorios de la ingeniería civil, según van quedando desgajados de la actividad ingenieril militar. A mediados del siglo XVIII, en 1747, se funda en París *L'Ecole des Ponts et Chaussées*, la primera escuela de ingeniería civil moderna del mundo. Una escuela, inicialmente dirigida por Jean Perronet, que es heredera de la institución militar⁶⁷⁹ francesa del *Corps de Ingénieurs de Ponts et Chaussées*. En 1794, también en París, se establece la *École Polytechnique*, fundada bajo el nombre de *École centrale de travaux publics*.

De acuerdo con Meijers (2009: 3) “el término ‘ingeniería civil’ se introduce en el siglo XVII para distinguir las aplicaciones no militares, como las carreteras y los puentes. La ingeniería se definió a principios del siglo XIX como ‘el arte de dirigir las grandes fuerzas de la naturaleza para el uso y conveniencia del ser humano’”. La denominación de ingeniero civil se atribuye al ingeniero y físico inglés John Smeaton (1724-1792), considerado como fundador del término al autodenominarse ‘ingeniero civil’ (Mitcham, 1988: 58). El campo de actividad ingenieril de Smeaton se centra en la construcción de faros, puertos, canales y

⁶⁷⁹ La condición de la ingeniería civil como heredera de la ingeniería militar ha sido tenida en cuenta por distintos autores (ej. Mitcham, 1988) a la hora de explicar características organizativas y culturales, como la jerarquía y una cierta rigidez, atribuidas en el pasado a la ingeniería civil.

puentes, pudiendo destacarse –en la materia de lo que más tarde llegará a ser la ingeniería sanitaria– diversos trabajos de drenaje de zonas inundables de Inglaterra.

Las numerosas aportaciones ingenieriles de John Smeaton han sido objeto de interés desde diversas especialidades de la ingeniería civil. Sin embargo, en este punto quiero destacar tres aportaciones –muy diferentes entre sí– que muestran la extraordinaria amplitud e importancia del impulso de Smeaton a la ingeniería civil en el siglo XVIII. El primer elemento que quiero destacar, referido al uso de materiales (sistema óntico artefáctico), es la actualización técnica que realiza del cemento como material de construcción. En segundo lugar, desde el punto de vista del conocimiento práctico (sistemas epistémico y metodológico), el desarrollo de coeficientes (que permiten una aproximación de modelos prácticos hacia modelos cuasiteóricos o netamente teóricos)⁶⁸⁰. Y en tercer lugar, su apoyo al asociacionismo profesional (base del complejo institucional del sistema óntico), destacando el impulso a la creación en 1771 de la *Society of Civil Engineers*⁶⁸¹.

La ingeniería civil reaparece –puesto que las actividades constructivas que componen esta disciplina están presentes desde la antigüedad– en un formato renovado. Un formato que responde a la demanda de nuevas obras, de nuevas infraestructuras de comunicación. El arrastre económico transformador de la primera revolución industrial, con un modelo emergente de uso de la energía a partir del carbón, llevan a la creación y demanda, además de los ingenios fabriles (fábricas textiles, en primer lugar), de mejora de las condiciones de comunicación y transporte de mercancías y de personas. El final del siglo XVIII, pero sobre todo los comienzos del siglo XIX, demandan mejoras productivas en las minas, y de la mano de estas mejoras aparecen las necesidades en infraestructuras de transporte (caminos y después las vías férreas), así como puertos modernos. Podría decirse, de una manera muy simplificada, que el nacimiento de la ingeniería civil está vinculado a las crecientes necesidades de transporte (de materias primas, combustible y productos elaborados) del proceso de industrialización acelerada que caracteriza al siglo XIX.

El proceso de industrialización acelerada desde finales del XVIII, especialmente en las nuevas zonas fabriles de Inglaterra, va a traer de la mano una concentración de población sin precedentes. La elevada densidad de población, y el hecho de que las ciudades no estén preparadas para ese incremento (hacinación) de las presiones humanas, va a derivar en una degradación extraordinaria de las condiciones de higiene y salud pública. La rápida sobrepoblación va a desbordar unas condiciones higiénico-sanitarias que, en la gran mayoría de las ciudades europeas, distan de ser las adecuadas, siquiera para las poblaciones residentes ordinariamente.

Los abastecimientos de agua se hacen desde los ríos, de fuentes o pozos, en zonas que difícilmente –a pesar de la incorporación de tratamientos de purificación⁶⁸²– pueden escapar de los procesos de contaminación, el estiércol y la basura sólida se recoge y se carreta, o bien se arrastra mediante mareas (de agua) en las calles para evacuar las inmundicias a través de las cunetas al aire libre o de las pocas alcantarillas que se atascan y se hunden una y otra vez. En las ciudades que sirven entonces de referencia por su limpieza, las casas cuentan –en el mejor de los casos– con letrinas y pozos negros que deben ser limpiados periódicamente para

⁶⁸⁰ El conocido como Coeficiente de Smeaton está presente en la ecuación ascensional (atribuida a Smeaton) que usaron los hermanos Wright en sus diseños aeronáuticos.

⁶⁸¹ La Sociedad de Ingenieros Civiles que será precursora de la *Institution of Civil Engineers*, fundada en 1818 y que será renombrada en 1830 como *Smeatonian Society of Civil Engineers*, denominación que mantiene en la actualidad.

⁶⁸² El primer abastecimiento de agua filtrada para una ciudad completa se construyó en 1804 en Paisley, en Escocia. Aunque comenzó con un carro de abastecimiento, en 1807 se le añadió un sistema de distribución mediante tuberías. *Cfr.* Baker, M.N. (1949): *The quest for pure water*, op. cit. pp. 6-13.

reducir la acumulación de excrementos⁶⁸³. Estas condiciones generales llevarán a que, una y otra vez, las autoridades públicas intenten –las más de las veces con escaso éxito– emprender importantes proyectos de transformación urbana. Pero en estos finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, aún no se dan las condiciones científicas, técnicas, económicas y de gestión⁶⁸⁴, como para abordar con éxito problemas de esa escala. Sin embargo, sí que pueden destacarse algunas actuaciones ingenieriles y arquitectónicas más limitadas y bien ejecutadas, que vendrán a mostrar cómo estas actividades pueden contribuir al mejoramiento de la trama y condiciones urbanas.

Hechas estas observaciones, y siguiendo con la evolución de la ingeniería civil, puede señalarse que, hasta principios del siglo XIX, la teoría y práctica de la nueva ingeniería civil encuentra su mejor representación en Francia y Gran Bretaña; en la primera destaca sobre todo en el orden teórico (y formativo) y en la segunda en el orden de su aplicación práctica. La formación ingenieril francesa es un referente de primer orden de magnitud. Hasta el punto de que cuando en Estados Unidos se promueve la creación de un cuerpo autónomo de profesionales de la ingeniería civil, se hace enviando a personal técnico para formarse en Francia. El primer libro de texto (en equivalente de grado universitario) de ingeniería civil en los Estados Unidos es una versión de la práctica francesa de la ingeniería civil. Así, *An Elementary Course of Civil Engineering* (1838), redactado por Dennis Hart Mahan después de su estancia formativa en París, será durante décadas el libro de referencia en la ingeniería civil norteamericana.

A pesar de que la ingeniería civil inicia su emancipación de la ingeniería militar a finales del siglo XVIII, aún en el siglo XIX seguirá, en parte vinculada, a la formación militar⁶⁸⁵. Esto es debido a que la comunidad naciente de ingenieros civiles se está nutriendo de excedentes de formación en la ingeniería militar. Se hace notar que, en Estados Unidos, desde 1820 las academias militares (destacando la *U.S. Military Academy of West Point*) están graduando más ingenieros de los que el ejército puede emplear, de forma que muchos graduados –más de cien sólo en la década de 1830– pasan de la ingeniería militar a la actividad ingenieril específicamente civil.⁶⁸⁶

La comunicación entre la ingeniería civil francesa y la americana, e incluso entre la ingeniería militar y civil se observa en el libro de D.H. Mahan, que puede considerarse como una completa visión del ‘estado del arte’, internacional y colectivo⁶⁸⁷, de la ingeniería civil durante la primera mitad del siglo XIX. El índice de contenidos de este curso elemental de ingeniería civil muestra el enfoque y campo de actividades que caracteriza el período inicial

⁶⁸³ Cfr. Pinto, V; Gili, R. y Velasco, F. (2015): *Historia del saneamiento de Madrid*, Madrid: Canal de Isabel II

⁶⁸⁴ Esas condiciones que faltan (científicas, técnicas, económicas y de gestión) vendrán a resolverse, al menos de forma teórica, a finales del siglo XIX y principios del XX, cuando la ingeniería civil sanitaria ha adquirido el estatus como disciplina ingenieril, precisamente porque conforma entonces un equipamiento teórico y práctico para abordar con solvencia tecno-científica las construcciones de obras públicas que permitirán mejorar efectivamente las condiciones higiénico-sanitarias en las ciudades.

⁶⁸⁵ La vinculación entre la ingeniería militar y la ingeniería civil ha tenido un recorrido amplio, prueba de ello es que en países europeos como Francia o España, hasta bien entrado el siglo XX los profesionales de la ingeniería civil siguen considerados como cuerpos uniformados y sometidos a unas rígidas normas, cuando no directamente forman parte de estrictos cuerpos funcionariales. Algunos autores, como Mitcham (1988) han visto en estas relaciones la justificación de principios éticos de autoridad y jerarquía muy vinculados a la práctica ingenieril, hasta la que se denomina –como se verá más adelante– la ‘revolución de los ingenieros’.

⁶⁸⁶ Cfr. Melosi (1996:109).

⁶⁸⁷ En el prefacio del libro, Mahan señala cómo los conocimientos en general no son de su autoría sino que ha recopilado la información disponible, tanto oral como escrita. Este comportamiento denota, desde el principio, una característica propia de la literatura técnica ingenieril, que se muestra como parte de una corriente de conocimientos y prácticas establecidas colectivamente pero en las que (al contrario que en la literatura científica) raramente aparecen referencias a autores concretos.

de esta ingeniería: el capítulo 1 se dedica a la descripción de los materiales de uso constructivo (piedras naturales y rocas, piedras artificiales y cemento, madera, y metales); el capítulo 2 trata muy brevemente sobre la resistencia de materiales⁶⁸⁸; los capítulos 3 y 4 se dedican a técnicas constructivas, albañilería y carpintería, respectivamente; los capítulos siguientes tratan de tipos de obras como carreteras (cap. 5), puentes (cap. 6), ferrocarriles (cap. 7), y canales (cap. 8); y los dos capítulos finales se dedican a los ríos (cap. 9) y a actuaciones en la costa como puertos y diques (cap. 10).

Desde el punto de vista metodológico, de la práctica ingenieril, puede destacarse cómo en el capítulo de carreteras, el autor hace una descripción de un método (lo que sería básicamente el proceso ingenieril): trabajos cartográficos, estudio de alternativas...

A juzgar por el libro de Mahan, la ingeniería civil del primer tercio del siglo XIX todavía no incluía los proyectos que más tarde serán característicos de la ingeniería sanitaria, como el abastecimiento de aguas, el saneamiento de las poblaciones y la recogida (al menos) de las basuras y residuos domésticos.

En estos tiempos, las aportaciones de la ingeniería civil a la construcción y al saneamiento urbano aún son limitadas, consistiendo en la aplicación y adaptación de tecnologías constructivas propias de la ingeniería civil tradicional a la problemática del saneamiento urbano. Así, a principios del siglo XIX, son ingenieros civiles como John Roe⁶⁸⁹, con experiencia en la construcción de líneas de ferrocarriles, quienes volcarán su experiencia en obras de drenaje a la construcción de alcantarillas y drenajes urbanos. Una afirmación que Melosi (1996: 109) generaliza al afirmar que los ingenieros civiles trasladan a las ciudades sus experiencias en drenajes de obras lineales.

Aunque la práctica de la ingeniería civil se va extendiendo por las ciudades, esas aportaciones al urbanismo se realizan como fruto de la práctica profesional adaptada, pero no de una práctica profesional aprendida en la materia de la ingeniería sanitaria, que no adquirirá el carácter de disciplina autónoma hasta principios del siglo XX.

Al iniciarse el siglo XIX, ya podemos observar plenamente definidos los rasgos de la profesión que hoy conocemos como ingeniero civil: desde entonces vemos a los miembros de dicha profesión construir estructuras de todas clases, diseñar sistemas de distribución de agua potable y sistemas sanitarios; tender vías férreas, redes de caminos, y participar en la planeación y desarrollo de las ciudades.

7.5.1.2 Ingeniería para saneamiento urbano bajo la teoría miasmática (medio s. XIX)

Desde finales del siglo XVIII se pone de manifiesto cómo la primera revolución industrial –al margen de otras consideraciones– tiene unos efectos ambientales negativos de primer orden de magnitud: degradación de la calidad ambiental del territorio en las zonas mineras, contaminación del ambiente en las fábricas y en su entorno (humos, gases, escorias, vertido de líquidos...), sobrepoblación y hacinamiento en las zonas urbanas intensamente

⁶⁸⁸ La forma ingenieril, más que científica, en que Mahan expone la resistencia de materiales en este temprano texto se ha considerado (*cfr.* Layton, 1971) como una de las pruebas históricas que atestiguan la existencia ya en la primera mitad del siglo XIX de una comunidad tecnológica norteamericana, equiparable a las comunidades científicas que se reconocen habitualmente; sirviendo como apoyo de la tesis de Layton (1971) sobre un modelo relacional ciencia-tecnología más equilibrado ya desde el s. XIX. (Véase Layton, E.T. (1971): "Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th-century America", *Technology and Culture*, 12/4, October, pp. 562-80.)

⁶⁸⁹ John Roe es uno de los ingenieros civiles británicos consultados por Chadwick para la elaboración de su informe (1842) sobre el estado de higiene y salud pública en las ciudades de Gran Bretaña. El mismo Roe, cuando es entrevistado para el informe, señala que su experiencia previa ingenieril a los trabajos sanitarios está en la construcción de carreteras y ferrocarriles, y que haciendo el drenaje de estas obras es como llega a familiarizarse con los drenajes y alcantarillados que ha de realizar en varios distritos londinenses.

degradadas. A partir del primer cuarto del siglo XIX, las condiciones ambientales del campo, de la ciudad y de los ríos, empiezan a resultar localmente insostenibles.⁶⁹⁰

Los higienistas (médicos, en su mayor parte) vienen siendo quienes, en Gran Bretaña, van tomando una posición respecto a estos graves problemas, que afectan especialmente a las clases trabajadoras. Toma así impulso el movimiento británico de salud pública (*sanitary movement*) en el período 1832-1854. En este contexto se dictan nuevas normas y se elaboran informes específicos, de los que a su vez surgirán nuevas normas e intervenciones. Puede destacarse el conocido como informe Chadwick (1842).

Las medidas que se proponen en estos tiempos en informes como el de Chadwick reflejan un estado de conocimiento de la problemática higiénico sanitaria, y de cómo pueden atacarse los problemas más importantes detectados: la alta mortalidad, especialmente por causa de enfermedades –tanto regularmente como de forma más intensa en epidemias– y la baja esperanza media de vida. Ante esta situación, los higienistas, apoyados –entre otros– por profesionales de la ingeniería civil y urbanistas, plantean medidas higiénico-sanitarias. Unas medidas que en principio se orientarían a reducir las miasmas⁶⁹¹, puesto que la teoría vigente (y dominante) del origen de las enfermedades es entonces la teoría miasmática.

De acuerdo con la teoría miasmática, los miasmas, como conjunto de las emanaciones fétidas procedentes de los suelos y de las aguas impuras, serían la causa fundamental de las enfermedades. Esta teoría domina el panorama higiénico-sanitario prácticamente desde el siglo XVII hasta casi finales del XIX, en que cede a favor de la teoría microbiológica, debido a los avances de la bacteriología.

De este modo, el marco de la teoría miasmática conduce a que los higienistas y los ingenieros civiles que están comenzando a colaborar técnicamente con ellos, planteen obras cuya finalidad sea la de obtener un ambiente sano (libre de miasmas), y por tanto se diseñen y se ejecuten aquellas que permitan: disponer de aguas de abastecimiento que sean limpias y claras a la vista; evitar el estancamiento de aguas y su putrefacción; promover el confinamiento o la retirada de excrementos y residuos orgánicos cuya descomposición pudiera producir fetidez.

La práctica de la ingeniería sanitaria tiene una discreta evolución durante el siglo XIX. Aquí tenemos dos cuestiones: en primer lugar, la forma en que la ingeniería se incorpora a los instrumentos públicos dedicados a la higiene y a la salud pública; y en segundo lugar la forma en que la ingeniería sanitaria queda –por así decirlo– englobada en un campo disciplinar de mayor orden, como es el de la ingeniería civil.

Esta interesante transformación se produce en un no menos interesante cambio de paradigma sanitario, en que se pasa de la aplicación de la teoría miasmática a la teoría microbiológica. En este escenario la ingeniería sanitaria tiene que responder a las necesidades de un urbanismo más sensible con las epidemias (como la peste o el cólera) que azotan las ciudades.

7.5.1.3 Saneamiento urbanístico y teoría microbiológica (segunda mitad del s. XIX)

Como se ha observado, la revolución industrial tiene unos efectos ambientales negativos de primer orden de magnitud: degradación de la calidad ambiental del territorio en las zonas mineras, contaminación del ambiente en las fábricas y en su entorno (humos, gases, escorias, vertido de líquidos...), sobrepoblación y hacinamiento en las zonas urbanas

⁶⁹⁰ Cfr. Mumford, L. (1961) *La ciudad en la historia. Sus orígenes, transformaciones y perspectivas*.

⁶⁹¹ “Efluvios malignos que, según se creía, desprendían cuerpos enfermos, materias corruptas o aguas estancadas”. Definición de miasma según el Diccionario de la Real Academia Española (DRAE).

intensamente degradadas. Ante esta situación, en ciudades de Europa continental se pone la ingeniería civil al servicio de los grandes procesos de transformación urbana, uno de cuyos mayores exponentes es la transformación, desde mediados del siglo XIX, de un París medieval, a un París que se convierte en la capital más moderna del mundo, ejemplo para otras actuaciones urbanas que vendrán. Estos procesos de transformación urbana también serán debidos (pero no es la causa suficiente) a la necesidad de mejorar las condiciones sanitarias de las urbes.

Ejemplo del proceso de grandes mejoras urbanísticas (y sanitarias, aunque en menor medida, salvo en el tamaño) es la renovación de Haussmann en París. Cuando en 1852 Napoleón III le encarga a Haussmann el trabajo de reurbanización de París, lo hace convencido de que París podría –entre otras mejoras– disponer de unas comunidades más salubres. Las mejoras sanitarias no se limitan al abastecimiento y el alcantarillado, sino otras medidas sanitarias (no específicamente consideradas en la actual ingeniería sanitaria) como fueron la apertura y ampliación de calles, mejoras del pavimento, y ajardinamientos; tareas entre las que destacó la colaboración técnica del ingeniero civil Jean-Charles Alphand. Esta presencia muestra que la ingeniería civil francesa, a mediados del siglo XIX, incorpora actividades tanto de la actual ingeniería civil como del urbanismo⁶⁹².

Las actuaciones de Haussmann, para algunos consideradas como un servicio a las clases dominantes y al capital se hacen posibles, en gran medida, gracias a la combinación efectiva de tres elementos. En primer lugar, las mejoras técnicas generales; en segundo lugar, la concepción pública estatal de los bienes y servicios urbanos (en cierta manera diferente de la anglosajona, que es más comunitaria); y en tercer lugar la disposición mediante expropiación forzosa, que significa una ruptura con la concepción del derecho liberal tradicional, en el que hasta entonces encajaría un derecho ilimitado de la propiedad privada.

En este período se asiste a una profunda transformación del marco institucional de la ingeniería sanitaria⁶⁹³, dado que la higiene y la salud pública vienen a convertirse en cuestiones de interés común y público, un fenómeno de socialización que se expone en Mumford (1961)[2012]:

La higiene reclamaba espacio, equipos municipales y recursos naturales de los que hasta entonces había carecido. Con el tiempo esta exigencia llevó a la socialización municipal como acompañamiento normal de la mejora de los servicios. Ni la provisión de agua pura ni la eliminación colectiva de la basura y los excrementos podían dejarse a cargo de la conciencia privada ni ser resueltas únicamente en caso de que dieran ganancia. En los centros más pequeños podría dejarse a las compañías privadas el privilegio de mantener uno o más de estos servicios, hasta que un notorio brote de enfermedad impusiera el control público, pero en las ciudades la socialización era el precio de la seguridad; y así, a pesar de las pretensiones teóricas del liberalismo, el siglo XIX se convirtió (...) en el siglo del socialismo municipal. Cada mejora en el interior del edificio requería su servicio de propiedad y administración colectivas: por una parte, cañerías maestras de agua, depósitos de agua, acueductos y estaciones de bombeo; por la otra, cañerías

⁶⁹² En cierta medida, la ingeniería civil del diecinueve, aún sin terminar de diferenciarse, estaba englobando lo que sería la ingeniería municipal, o el conjunto de las transformaciones urbanas: viales, calles, edificios, servicios, alcantarillado, ajardinamientos...

⁶⁹³ Algo que puede estar relacionado con la práctica todavía actual, debido a la marcada pertenencia de la ingeniería sanitaria a la ingeniería civil, una ingeniería más vinculada a las competencias e inversiones públicas. Esto como contraste de la ingeniería industrial (mecánica, minera...) más centrada en la creación de mejoras económica y productivamente eficientes, y por tanto situadas tradicionalmente en la economía privada.

maestras de desagüe, plantas de reducción de aguas servidas y granjas que las utilizaban. Sólo faltaba la propiedad pública de la tierra para la extensión, la protección o la colonización de la ciudad. (...) Mediante esta socialización eficaz y de amplia difusión, la tasa general de mortalidad, así como la tasa de mortalidad infantil, tendieron a decrecer después de la década de 1870, y tan manifiestas eran estas mejoras que aumentó la inversión social de capital municipal en estos servicios.⁶⁹⁴

A estas importantes transformaciones institucionales de la ingeniería sanitaria se le viene a sumar una extraordinaria, de orden epistemológico, como es el cambio de paradigma microbiológico desde la teoría miasmática a las teorías bacteriológicas, que conllevan lo que el historiador Melosi define como ‘revolución bacteriológica’.

7.5.1.4 Construcción de ingeniería sanitaria y ‘ciudad sanitaria’ (hasta medio s. XX)

A finales del siglo XIX la ingeniería sanitaria ya está adquiriendo, como disciplina ingenieril, carta de naturaleza. Lo que se sigue a partir de entonces es un período relativamente largo, de consolidación de las actividades de la ingeniería sanitaria, en donde se pone a prueba en retos de abastecimiento y saneamiento, así como residuos sólidos urbanos, en las grandes ciudades. En esta etapa se inicia la vigencia de lo que Melosi (1996) denomina *Sanitary City*.

De alguna manera este proceso de crecimiento en tamaño de la ingeniería sanitaria puede vincularse al modelo de las nuevas ciudades. Las grandes operaciones urbanas (entendidas en casos como claros ejemplos de lo que se entendía como saneamiento urbano) proceden a la demolición de las murallas y a la reurbanización de la trama urbana. En esto siguen, con décadas de retraso –por muy diferentes motivos– las intervenciones masivas de Haussmann en París, pero posibilitan la incorporación a gran escala de nuevas redes de abastecimiento y saneamiento de aguas residuales.

7.5.1.5 El giro ecológico de la ingeniería sanitaria (hasta finales del s. XX)

La evolución de la sociedad, el acceso a nuevos conocimientos y, sobre todo, a la comprensión de la interrelación entre el ser humano y su entorno ha obligado a ampliar el enfoque inicial. La ingeniería sanitaria, con los avances tecnológicos y exigencias sociales, ha ido superando su fase inicial orientada exclusivamente a las necesidades del ser humano, para en una ingeniería sanitaria ampliada, abordar también problemáticas del entorno o medio ambiente. Se observa que el desarrollo conlleva un riesgo de degradación o perjuicio ambiental, y surge la necesidad de realizar estudios del impacto ambiental que, previsiblemente, producirá cualquier obra humana proyectada.

En términos de disciplina ingenieril, este fenómeno supone la convergencia entre la disciplina ya histórica de la ingeniería civil (incluyendo la ingeniería sanitaria tradicional) y la nueva ingeniería ambiental, con orientación ambiental ecosistémica. Este fenómeno puede representarse gráficamente.

⁶⁹⁴ Mumford, L. (1961)[2012]: *La ciudad en la historia. Sus orígenes, transformaciones y perspectivas*, Logroño: Pepitas de Calabaza, p. 791-92

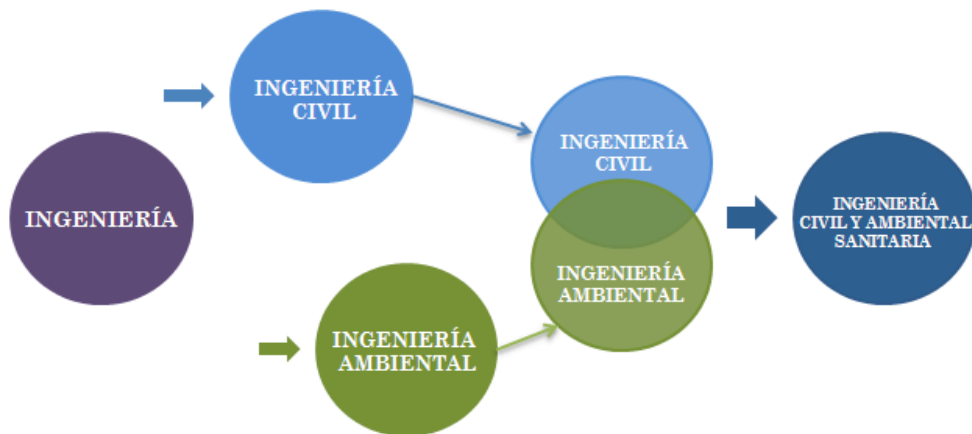


Fig. 7.5.1.a) Convergencia entre disciplinas de ingeniería civil e ingeniería ambiental

Esta expansión del objeto de su tratamiento ha incluido nuevas técnicas y métodos, pero, sobre todo –lo que aquí es más pertinente– ha ido incorporando nuevos conceptos. El paradigma de desarrollo sostenible, surgido a partir de los años noventa del siglo pasado es un buen ejemplo de estos conceptos integrados. Con este nuevo enfoque se pasa de las partes al todo, al medio global (físico, biológico, social, cultural, económico), encontrándose el interés y la necesidad de los estudios interdisciplinarios y del estudio de las interdependencias entre los elementos del sistema ambiental.

De esta manera, la ingeniería sanitaria en su sentido tradicional se ha expandido, siendo frecuente referirse actualmente a esta disciplina también como ingeniería ambiental. Sin embargo, son muchos quienes, desde la ingeniería, mantienen la denominación de ingeniería sanitaria, por ser una denominación clásica con apelaciones y referencias constituyentes de la disciplina.

Los cambios en la ingeniería ambiental sanitaria se han producido a la par de los fenómenos de expansión urbana acelerada y, por tanto, de un mundo construido con la presencia de sistemas técnicos de gran escala para responder a las demandas de poblaciones crecientes. Se trata de infraestructuras e instalaciones cuya presencia, disposición y operación resulta esencial al proceso social y económico: redes de comunicación (telefonía, internet...), de transporte de energía (electricidad, gas, petróleo...), de abastecimiento de recursos básicos (agua...). Existe una literatura especializada en la investigación de las interrelaciones entre los sistemas técnicos de gran escala y los cambios sociales, que se ha venido realizando en los últimos años (*cfr.* Vleuten, 2006)⁶⁹⁵.

7.5.1.6 Ingeniería ambiental sanitaria y sostenibilidad urbana (s. XXI)

Dado que las dos grandes tendencias que se manifiestan en el período anterior (mayor sensibilidad por la salud ambiental y los ecosistemas, y megacrecimiento urbano) tienen relevantes incidencias en el modelo de la ingeniería ambiental sanitaria, podría afirmarse que esta disciplina se encuentra actualmente ante un escenario de crisis. En esta

⁶⁹⁵ Vleuten (2006): Understanding Network Societies: Two decades of Large Technical System studies.

situación, Pincetl (2010)⁶⁹⁶ pone de manifiesto el cambio paradigmático que se produce (o tal vez, que debería producirse) desde el modelo típico del siglo XX de ‘ciudad sanitaria’ hacia la ciudad sostenible del siglo XXI.

Ante este escenario de crisis de modelo de ciudad, una parte de la comunidad profesional de la ingeniería ambiental sanitaria está proponiendo priorizar el enfoque de la sostenibilidad como integrante de la teoría y práctica ingenieril. Esto se observa en la importancia creciente de este concepto en la ingeniería. Un concepto (sostenibilidad) que tiene una clara dimensión axiológica, y también en cierta medida metodológica y praxiológica.

Esta nueva preocupación puede observarse, por ejemplo, en la propuesta de Massoud *et al.* (2009) para selección de las ‘tecnologías más apropiadas’ en que, además de los aspectos económicos, se tienen en cuenta la aceptabilidad social y la sostenibilidad ambiental, incluyendo valores ecológicos como: protección ambiental, conservación de los recursos, reutilización del agua y reciclaje de nutrientes.

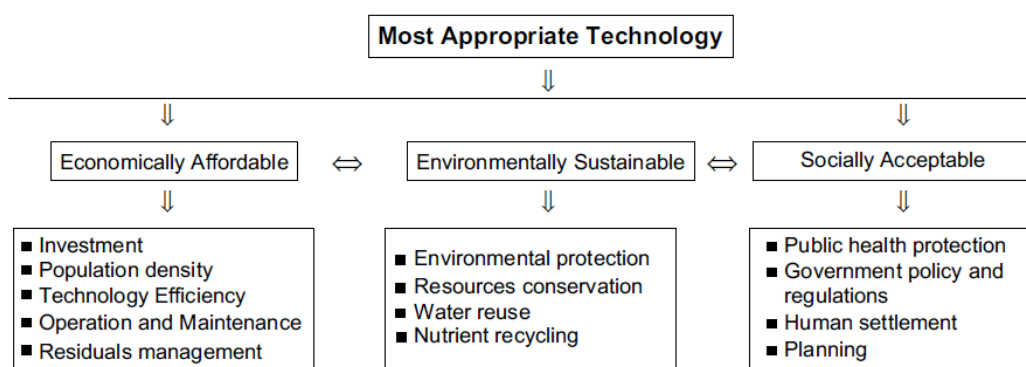


Fig. 7.5.1.b) Características y valores para ‘tecnologías más apropiadas’ (Massoud *et al.*, 2009:656)

En esta misma dirección y como ejemplos, en el ámbito profesional y académico hispanoamericano pueden señalarse como referencias de interés como: “Ingeniería verde: doce principios para la sostenibilidad”⁶⁹⁷ de Gómez (2008); “La sostenibilidad en la ingeniería industrial”⁶⁹⁸ de Trueba (2009); “La ingeniería de la decisión como herramienta para la sostenibilidad”⁶⁹⁹ de Linares, Ramos y Sánchez (2009); “Ingeniería y sostenibilidad: una simbiosis necesaria”⁷⁰⁰ de Romero (2010); “La sostenibilidad en los proyectos de ingeniería”⁷⁰¹ de García *et al.* (2013) quienes mantienen que todo proyecto de ingeniería debe incorporar un informe de sostenibilidad que demuestre que el proyecto es sostenible en los ámbitos social, ambiental y económico.

Este fenómeno de creciente preocupación por la sostenibilidad se observa, por extensión, también desde la disciplina matriz de la ingeniería civil, como se pone de manifiesto en

⁶⁹⁶ Cfr. Pincetl, S. (2010): “From the sanitary city to the sustainable city: challenges to institutionalising biogenic (nature’s services) infraestructura”, *Local Environment*, vol. 15, No.1, January 2010, 43-58.

⁶⁹⁷ Gómez Cívicos, J.I. (2008): “Ingeniería verde: doce principios para la sostenibilidad”, *Ing. Química*, nº 458, pp. 168-175.

⁶⁹⁸ Trueba, P. (2009): “La sostenibilidad en la ingeniería industrial”, *Rev. Sevilla Técnica*, (vol. Ingeniería sostenible).

⁶⁹⁹ Linares, P., Ramos, A. & Sánchez, P. (2009): “La ingeniería de la decisión como herramienta para la sostenibilidad”, pp. 389-396, in Sancha (coord.) *El ingeniero del ICAI y el desarrollo sostenible*. Madrid.

⁷⁰⁰ Romero, R.E. (2010): “Ingeniería y sostenibilidad: una simbiosis necesaria”, *Rev. Técnica Industrial*, nº 290, pp. 58-59.

⁷⁰¹ García, J., García, H., López, D., Sánchez, F., Vidal, E., Alier, M. & Cabré, J. (2013): “La sostenibilidad en los proyectos de ingeniería”, *ReVisión (AENUI)*, vol. 6 nº 2, pp. 91-100.

investigaciones académicas⁷⁰², y como se observa en el enfoque de algunas de las comunicaciones del Congreso Nacional de Ingeniería Civil de 2012⁷⁰³, en donde se presentan reflexiones como: “Crecimiento no sostenible” de Miralles; “Nuevos proyectos de ingeniería para una gestión sostenible de la costa” de Serra y Chaparría; “Ingeniería de presas: la evolución hacia la sostenibilidad” de Girón y Polimón; o “Técnicas para aumentar la sostenibilidad en las obras de ingeniería” de Rueda y Jofré.

⁷⁰² Véase como ejemplo, en este sentido, la tesis doctoral “Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la dirección integrada de proyectos de ingeniería civil” de Fernández Sánchez (2010) en la Universidad Politécnica de Madrid.

⁷⁰³ Las actas con los trabajos referidos aparecen publicadas en: Colegio de ICCP-Madrid (ed.) *Retos de la ingeniería civil: sociedad, economía y medio ambiente*, 2012.

7.5.2 Historicidad del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria

En este apartado se pretende aproximar un análisis diacrónico dinámico del cambio (causas, fuerzas, poderes y motivaciones) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria. Se trata de reconocer en la medida de lo posible la historicidad (cambio *con* el tiempo) que pueda caracterizar tanto a los diversos sistemas componentes como al sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria.

En el modelo general para la ingeniería ya he avanzado un análisis preliminar de la historicidad que se manifiesta en los distintos sistemas (óntico, semióticos, conceptuales y praxiológicos) de la ingeniería, así como en el conjunto del sistema complejo de la ingeniería. Ahí se han realizado consideraciones generales, pero que prácticamente pueden aplicarse directamente a la ingeniería ambiental sanitaria. De ahí que ahora, con el caso específico de la ingeniería ambiental sanitaria, vaya a aportar un enfoque complementario.

Para ello, tomando como caso la ingeniería ambiental sanitaria, voy a analizar dos fenómenos que, en mi opinión, pueden contribuir a dar cuenta de la historicidad del sistema *S²INGas*: la convergencia de disciplinas, y la emergencia de novedades cualitativas. Trataré primero la convergencia de disciplinas “que tiene lugar entre campos y enfoques de investigación inicialmente separados” (Bunge 2004: 17), y que es una categoría –en principio– epistemológica. Después trataré sobre la emergencia “en el sentido de la aparición de una novedad cualitativa” (Bunge 2004: 18), como categoría ontológica, relacionándola –desde un enfoque sistémico– con la complejidad sistémica.

7.5.2.1 Convergencia de disciplinas en supersistema de ingeniería ambiental sanitaria

Entiendo que los procesos de convergencia de disciplinas científicas y tecnológicas que se observan en el sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria permiten dar cuenta, al menos en parte, de la historicidad de los sistemas componentes y del conjunto del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria.

Antes de nada, hay que recordar el proceso de formación de la ingeniería ambiental, como una disciplina ingenieril relativamente autónoma, que se forma por expansión y convergencia de los campos tradicionales de actividad de diversas ingenierías (agropecuaria, forestal, urbana, civil e industrial) según se van incorporando los nuevos conocimientos y valores interrelacionados de salud pública ambiental y protección de los ecosistemas. Este proceso se observa con claridad desde la ingeniería sanitaria de la ingeniería civil. Pero, además, también se produce una cierta convergencia interna en la propia ingeniería civil, de modo que subdisciplinas como la ingeniería hidráulica e hidrológica, la ingeniería del terreno y geotecnia, o la ingeniería de costas encuentran en el medio ambiente (en la dinámica de sistemas naturales abióticos) un espacio de convergencia.

Podría decirse que estas convergencias interdisciplinarias se generan a partir de nuevos conocimientos basados en evidencias científicas y técnicas (ej. afección a la salud por contaminantes ambientales; bioacumulación y persistencia de contaminantes en cadenas tróficas de los sistemas ecológicos naturales; o cambios en dinámicas de sistemas ecológicos abióticos). Se trataría de convergencias disciplinares de base epistémica. Como esos nuevos conocimientos derivan en una mayor sensibilidad social, se produce un bucle de realimentación, en tanto esos nuevos componentes epistémicos activan la modulación de valores básicos, (como serían los valores básicos bio-psíquicos (VB) en relación con valores ecológicos (V-ECOL). A su vez esta modificación de componentes del sistema conceptual axiológico provocaría una mayor presencia de los temas de salud pública ambiental y protección de ecosistemas en el sistema praxiológico de cambio (I+D+i), y por tanto un incremento de los procesos de convergencia entre disciplinas ingenieriles.

Al enfocar la ingeniería civil y ambiental sanitaria también pueden observarse procesos de convergencia epistémica con diferentes disciplinas y especialidades de fuera del campo tecnológico ingenieril. Esto ocurre, como se detalla en Álvarez-Campana (2018) en el seno de la ingeniería ambiental sanitaria, con las aportaciones desde ramas científicas y tecnológicas. Así, se ha puesto de manifiesto la conexión y convergencia en la ingeniería ambiental sanitaria –como plataforma de referencia– de conceptos procedentes de disciplinas científicas como: microbiología, ecología y conservación, química ambiental, economía ambiental o economía del desarrollo. Y también de disciplinas tecnológicas (no ingenieriles) como: urbanismo y salud pública.

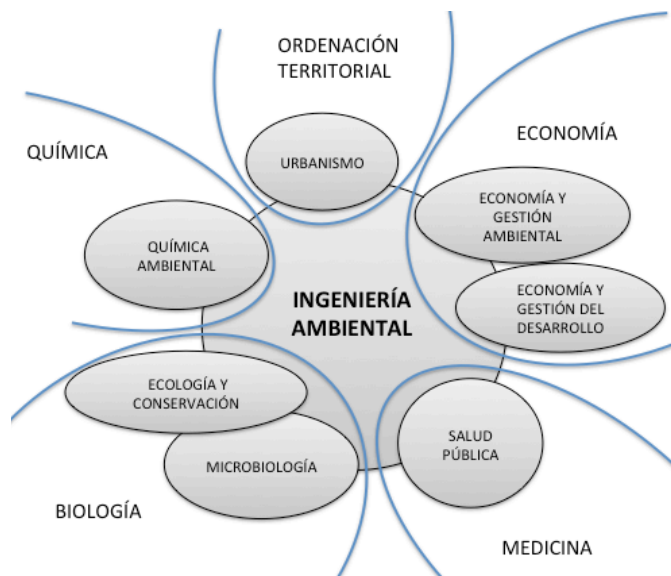


Fig. 7.5.2.a) Disciplinas científicas y tecnológicas convergentes con la actual ingeniería ambiental sanitaria (Álvarez-Campana, 2018)

Con el urbanismo entendido como el proceso de concepción y transformación de los espacios urbanos, no tanto desde el punto de vista de la construcción sino del diseño en torno a las necesidades de las poblaciones urbanizadas, que constituyen el toposistema (*SON(iv)-TOPias*) referencial de la ingeniería ambiental sanitaria. Por otra parte, la convergencia con la medicina y la salud pública se debe al hecho de que sus conceptos nodulares como son la salud y la enfermedad (de personas y de poblaciones) pueden correlacionarse con dos conceptos centrales de la ingeniería ambiental sanitaria como son el de calidad ambiental y el de contaminación.

7.5.2.2 Emergencia y complejidad en sistema complejo ingeniería ambiental sanitaria

En este apartado voy a intentar poner de manifiesto la historicidad, tanto de los sistemas componentes como del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, considerando el fenómeno de emergencia sistémica y su relación con la complejidad de la estructura interna (de tipo jerárquico) de los sistemas y del conjunto del sistema complejo.

Para Bunge (2004), la emergencia es el surgimiento de una novedad (cualitativa o cuantitativa). Más precisamente, sostiene que: “Decir que *P* es una propiedad *emergente* de los sistemas de clase *K* es la versión abreviada de ‘*P* es una propiedad global (o colectiva o no distributiva) de un sistema de clase *K*, ninguno de cuyos componentes o precursores posee *P*’.” (Bunge, 2004: 32).

La noción de emergencia sistémica presupone directamente la existencia de niveles superiores, constituidos por combinaciones de cosas de un nivel inferior. A su vez esto explica la posibilidad de ensamblado de sistemas complejos, a partir de elementos de niveles precursores, y por tanto también de la noción de complejidad sistémica que puede relacionarse (*cfr.* Simon, 1962)⁷⁰⁴ con la noción de ‘sistema jerárquico’ como sistema compuesto por subsistemas interrelacionados con estructura jerárquica pero una estructura que no se limita a relaciones de subordinación. Esta relectura de Simon, siguiendo a Cilliers (2005) facilita la recuperación de la noción de jerarquía vinculada a los sistemas, porque una visión sistémica que subestima la noción de jerarquía tiende a subestimar también el hecho de que los sistemas complejos tienen estructura.⁷⁰⁵

Entre las múltiples acepciones de ‘complejidad’ pueden (*cfr.* O’Sullivan, 2004) destacarse cuatro con diferentes implicaciones ontológicas y epistemológicas. De tipo ontológico, en las que se relaciona la complejidad agregada con los conceptos de emergencia y escala; y en los enfoques orientados al objeto y representaciones de modelos complejos. Otras, de carácter epistemológico, responden a la estrategia de concebir y representar los sistemas explícitamente como sistemas complejos; o también a la función de aprendizaje a través de los modelos del mundo, como de los modelos computacionales que representan esos modelos⁷⁰⁶.

Así, en la presente elucidación filosófica sistemista de la ingeniería ambiental sanitaria, el modelo seguido responde a las cuatro acepciones de complejidad, tanto las ontológicas como las epistemológicas. La complejidad epistémica del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria se manifiesta claramente, y está condicionada previamente por esa estrategia –propia de todo el proceso de esta elucidación filosófica sistémica– de concebir y representar los sistemas como sistemas complejos. Esto no sólo ocurre para el sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, sino también para los diferentes sistemas.

De este modo, el sistema óntico material (*SONias*) presenta una doble complejidad, tanto la derivada de considerar subsistemas (sistemas) ónticos (de agencia humana, artefáctico, complejo institucional y toposistema) interrelacionados, como la de considerar para cada uno de esos subsistemas ónticos una serie de niveles de complejidad óntica. Esto se observa con claridad el subsistema óntico artefáctico (*SON-ARTias*) como en el subsistema óntico de agencia del complejo institucional (*SON-CINias*). En estos casos, además, se pone claramente de manifiesto cómo los niveles de complejidad óntica creciente responden a pautas de emergencia sistémica, que permiten dar cuenta de la historicidad del sistema óntico material artefáctico de la ingeniería ambiental sanitaria y, por tanto, también del conjunto del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria. Puede verse, como ejemplo, el subsistema óntico artefáctico del sistema técnico de abastecimiento de agua a poblaciones.

⁷⁰⁴ Simon, H.A. (1962): “The Architecture of Complexity”, *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 106, No. 6. (Dec. 12, 1962), pp.467-482.

⁷⁰⁵ *Cfr.* Cilliers, P. (2005): “Introduction. Classic paper: The architecture of complexity”, *E:CO*, Issue Vol. 7 Nos. 3-4, 2005, pp. 138-154

⁷⁰⁶ O’Sullivan, D. (2004): “Complexity Science and Human Geography”, *Transactions of the Institute of British Geographers*, New Series, Vol. 29, No. 3 (Sep., 2004), pp. 282-295.

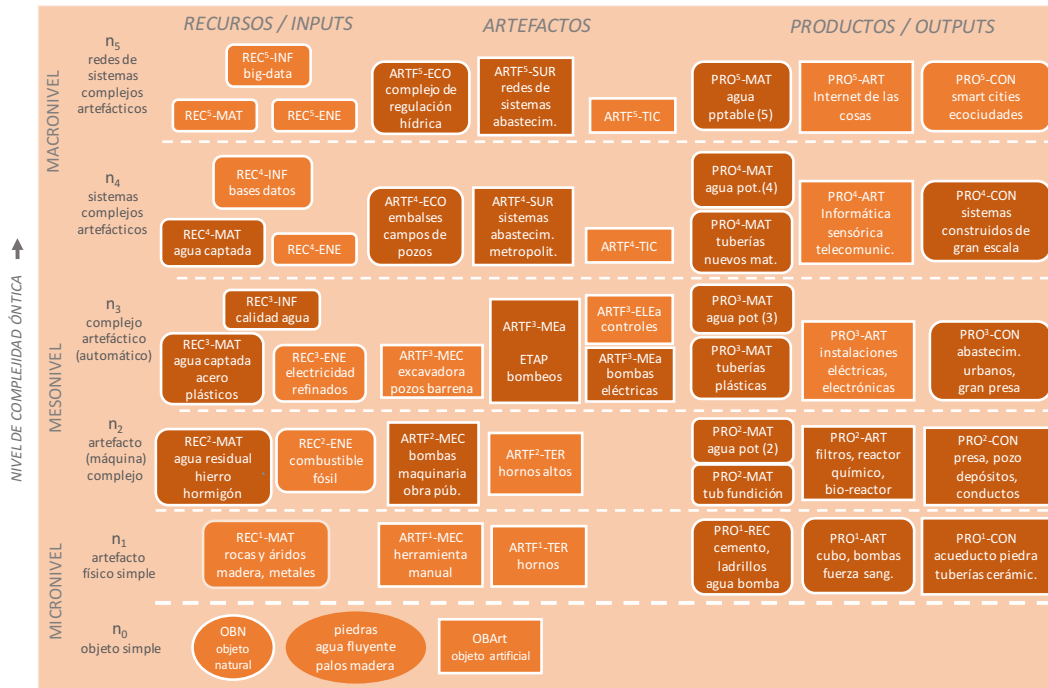


Fig. 7.5.2.b) Ejemplo de secuencia de niveles crecientes (emergentes) de complejidad óptica en un sistema técnico (abastecimiento de aguas) del subsistema artefáctico (SON-ARTias) del sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria (SONias)

De una forma similar, puede observarse con claridad el registro de procesos de emergencia sistémica que derivan en sucesivos niveles de complejidad óptica, en la representación gráfica del subsistema óptico del complejo institucional (SON-CINias) de la ingeniería ambiental sanitaria. En este caso, el nivel base de partida no es el de objetos simples sino el de un nivel medio (mesonivel) de complejidad, considerado el conjunto del sistema óptico material.

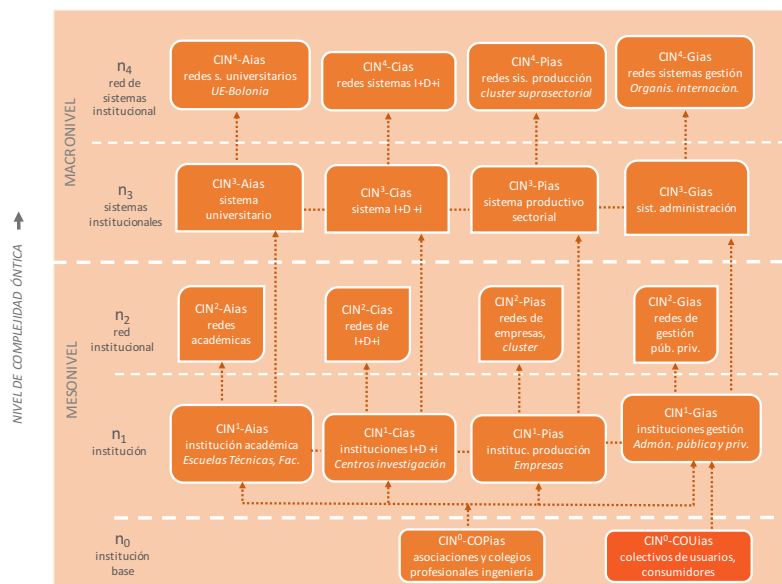


Fig. 7.5.2.c) Ejemplo de secuencia de niveles crecientes (emergentes) de complejidad óptica del subsistema de agencia del complejo institucional (SON-CINias) del sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria (SONias)

Como se verá más adelante, en la representación integrada del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, para cada uno de los sistemas (y en este caso para el sistema óntico material) se presenta una propuesta común sistémica de niveles de complejidad, con el mayor grado de resolución que ha sido posible. En este caso son niveles (hasta 5) de complejidad óntica, mientras que para los sistemas semióticos lingüísticos son niveles (hasta 4) de complejidad léxica, como son niveles (hasta 5) de complejidad epistémica para ese sistema. Por otro lado, con menor resolución, se consideran tres bandas (micro, meso y macro) de complejidad para el sistema axiológico y ético, y para el sistema metodológico.

Para cada uno de los sistemas (material, mixto y conceptuales) componentes del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria se han establecido niveles de complejidad que responden a fenómenos de emergencia y que, por tanto, dan cuenta de la historicidad de cada uno de los sistemas y –mediante sus interrelaciones– también de la historicidad del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas). Un sistema que, a continuación, se representa completo en su referencia temporal de ‘estado actual’ como presente (s. XXI).

7.5.3 Presente (s. XXI): sistema complejo ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas)

De forma semejante a como se hizo para el sistema complejo ingenieril, se considera interesante desplegar en este punto una serie de representaciones gráficas del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria sobre: i) el conjunto general de componentes-sistema (C) y entorno (E) correspondiente; ii) el mecanismo (M) general del sistema complejo, como sistema funcional praxiológico; iii) una composición de los anteriores que permita dar cuenta del cambio de estado (desde un t_0 a un t_1) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria; y iv) la representación integrada CESM (componentes, entorno, estructura y mecanismos) del sistema complejo ingenieril (S^2INGas).

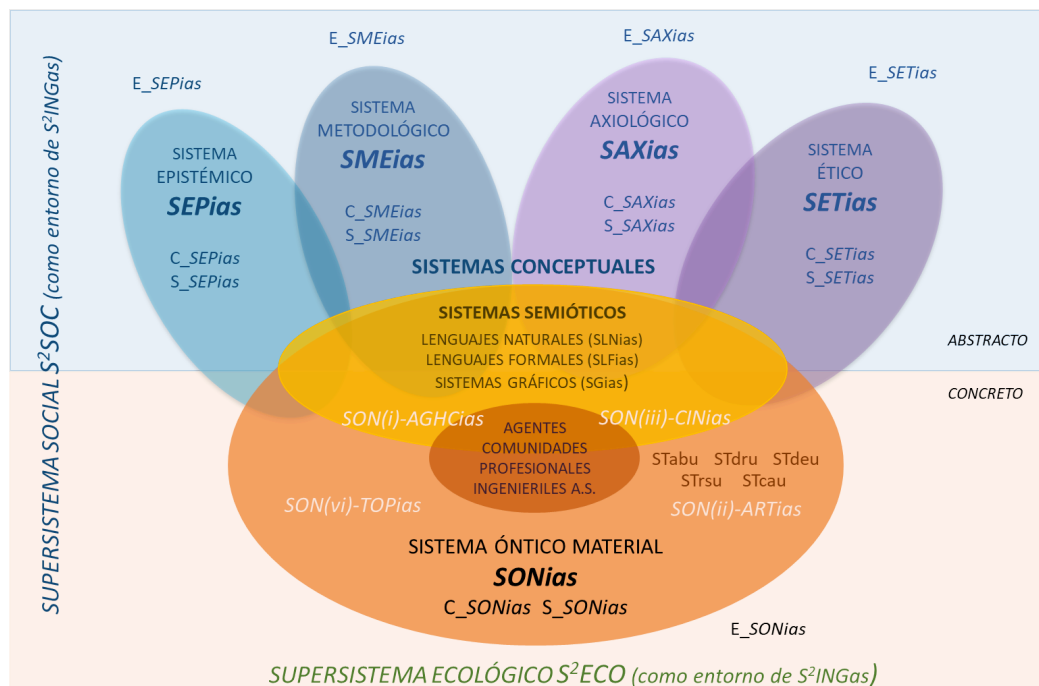


Fig. 7.5.3.a) Modelo B-Q: componentes-sistema (C) y entorno (E) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas)

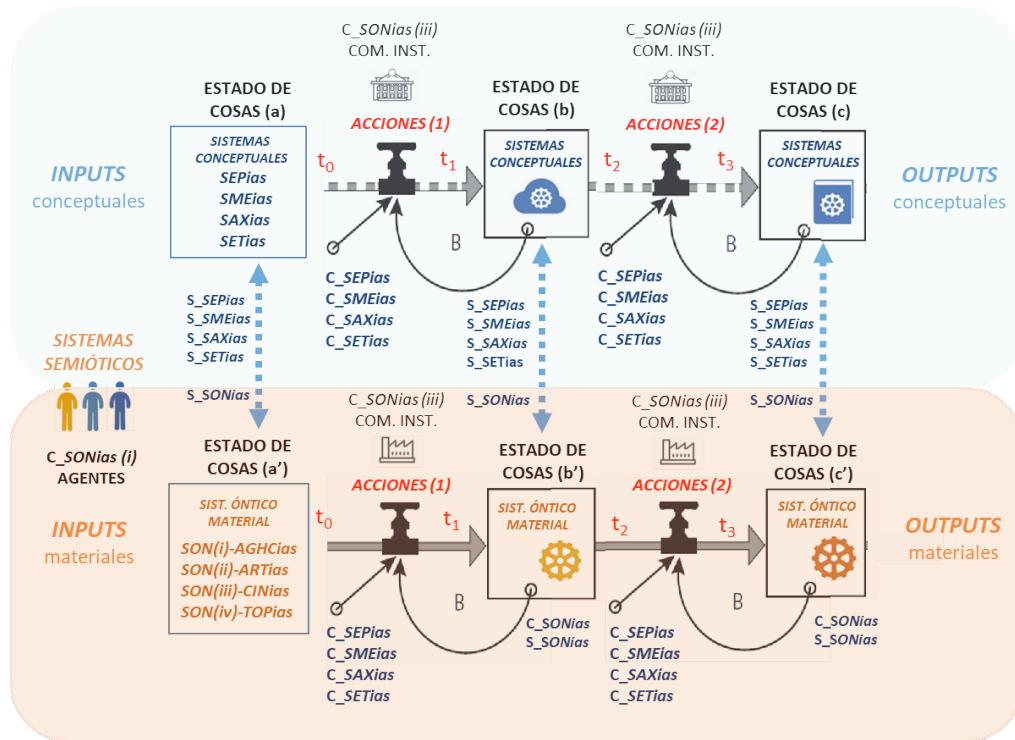


Fig. 7.5.3.b) Modelo B-Q: mecanismo (M) como sistema funcional praxiológico y estructura (S) correspondiente del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas)

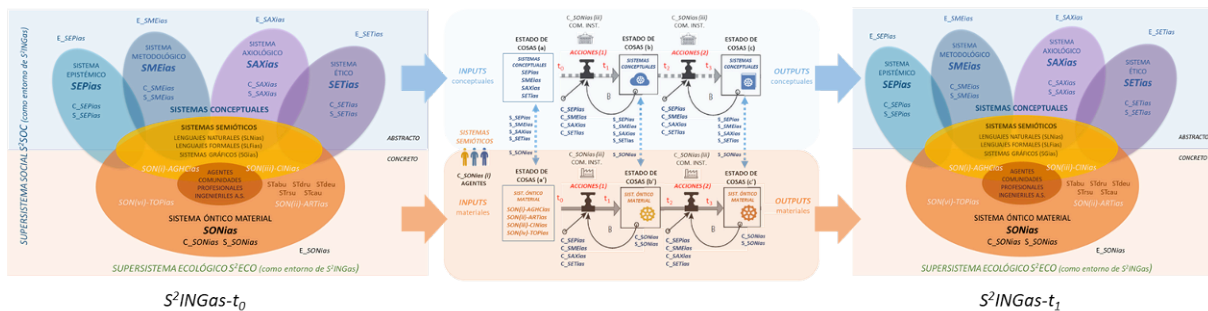


Fig. 7.5.3.c) Representación de cambio de estado (t_0 a t_1) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas)

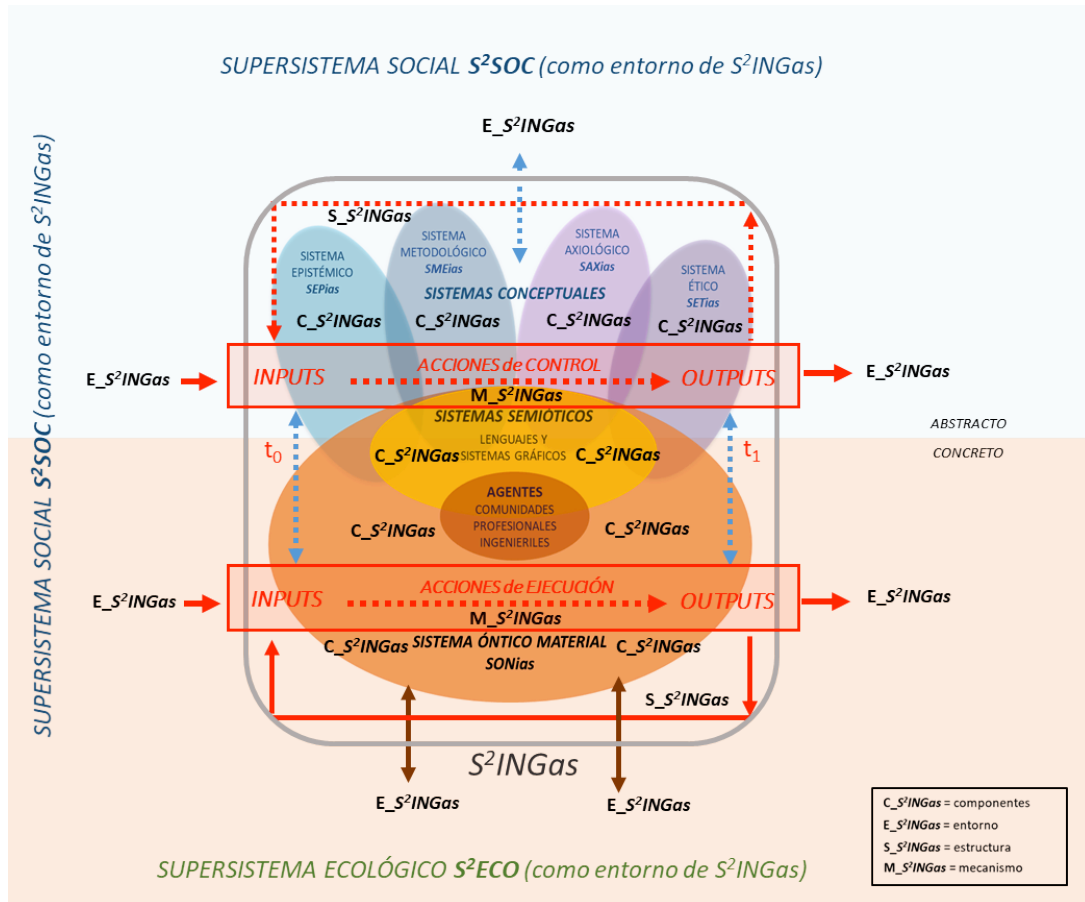


Fig. 7.5.3.d) Modelo Bunge-Quintanilla integrado (CESM) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas)

A partir de este punto, y de acuerdo con lo expuesto, podría describirse y representarse como *explicatum* el caso de la ingeniería ambiental sanitaria para un momento t dado (s. XXI), como un modelo (μ) de elucidación filosófica sistemista Bunge-Quintanilla del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas), organizado según la cuaterna CESM (componentes⁷⁰⁷, entorno, estructura y mecanismos):

$$\mu(S^2INGas)_{xxi} = \langle C(S^2INGas), E(S^2INGas), S(S^2INGas), M(S^2INGas) \rangle$$

donde,

$C(S^2INGas)$ o C_S^2INGas : componentes-sistema del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, entre los que se encuentran el sistema óntico material ($SONias$); los sistemas semióticos, tanto lingüísticos, agrupados como lenguajes naturales ($SLNias$) y lenguajes formales ($SLFias$), como gráficos ($SGias$); además de los sistemas conceptuales epistémico ($SEPIas$), metodológico ($SMEias$), axiológico ($SAXias$) y ético ($SETias$);

⁷⁰⁷ Como se ha observado en el texto, a la hora de desarrollar cada componente-sistema del sistema complejo ingenieril (S^2INGas) se han incluido, además de los componentes (C) de cada sistema, también su entorno (E) y estructura (S). Sin embargo, para reducir algo la complejidad de esta representación, he optado aquí por incluir para cada sistema sólo los subsistemas, en su caso, y los componentes (C), y no incluir el entorno (E) y estructura (S), que siempre pueden consultarse en el desarrollo de cada sistema que se hace a lo largo del capítulo.

$E(S^2INGas)$ o E_S^2INGas : entorno del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, destacando el supersistema social (S^2SOC) que integra el sistema político ($SOCpol$), económico ($SOCeco$) y el cultural ($SOCcul$), así como el supersistema ecológico (S^2ECOL);

$S(S^2INGas)$ o S_S^2INGas : estructura del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, donde se dan relaciones mediante flujos (materia, energía, información) tanto entre los componentes-sistema (endoestructura), y los componentes-sistema con el entorno (exoestructura);

$M(S^2INGas)$ o M_S^2INGas : mecanismos del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria o colección de procesos característicos, representados por los sistemas funcionales praxiológicos ($SPRAias$), entre los que se identifican el académico-docente ($SPRA-Aias$), de cambio ingenieril ($SPRA-Cias$), de producción ($SPRA-Pias$), y de gestión y control ($SPRA-Gias$) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria. que a su vez se desarrollan como:

Componentes-sistema del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas)

$C_S^2INGas = < SONias [AHC, ART, CIN, TOP], SLGias [LN, LF, SG],$
sistemas culturales conceptuales [SEPias, SMEias, SAXias, SETias] >

donde,

C_S^2INGas : componentes-sistema de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SONias$: sistema óntico de la ingeniería ambiental sanitaria, incluyendo los subsistemas de agencia humana (AHC), artefáctico (ART), institucional (CIN) y toposistema (TOP);

$SLNias$: sistemas semióticos lingüísticos, como lenguajes naturales en la ingeniería ambiental sanitaria;

$SLFias$: sistemas semióticos (lingüísticos), como lenguajes formales en la ingeniería ambiental sanitaria;

$SGias$: sistemas semióticos, como sistemas gráficos en la ingeniería ambiental sanitaria;

$SEPias$: sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SMEias$: sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SAXias$: sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SETias$: sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria;

que a su vez se desarrollan como:

Sistema óntico material de la ingeniería ambiental sanitaria ($SONias$)

$SONias = < (i)-AGHCias, (ii)-ARTias, (iii)-CINias, (iv)-TOPias >$

donde,

(i)-AGHCias : subsistema óntico material de agencia humana individual y comunidades profesionales;

(ii)-ARTias : subsistema óntico material artefáctico en lógica recurso-artefacto-producto (R-A-P), incluyendo los cinco sistemas técnicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria;

(iii)-CINias: subsistema óntico material del complejo institucional;

(iv)-TOPias: subsistema óptico material del sistema situado o toposistema. que a su vez se desarrollan como:

$$C_SON(i)-AGHCias = < SEHias, AGIHias, AGIias, COAias, COUias, COPIas, COPAias, COPIias, COPPIas, COPGias >$$

donde,

$C_SON(i)-AGHCias$: componentes del subsistema óptico material de la agencia humana individual y las comunidades;

SEHias : seres humanos del sistema óptico material de la ingeniería ambiental sanitaria;

AGIHias : agentes intencionales humanos de ingeniería ambiental sanitaria;

AGIias : agentes intencionales (humanos y no humanos) de la ingeniería ambiental sanitaria;

COAias : comunidades de agentes (intencionales o no intencionales) de la ingeniería ambiental sanitaria;

COUias : comunidades de usuarios y relacionados (afectados) de la ingeniería ambiental sanitaria;

COPIas : comunidades profesionales (agentes intencionales) de la ingeniería ambiental sanitaria;

COPAias : comunidades profesionales académicas de la ingeniería ambiental sanitaria;

COPIias : comunidades profesionales de investigación de la ingeniería ambiental sanitaria;

COPPIas : comunidades profesionales de producción (bienes o servicios) de la ingeniería ambiental sanitaria;

COPGias : comunidades profesionales de gestión de la ingeniería ambiental sanitaria.

$$C_SON(ii)-ARTias = < C_STabu, C_STdru, C_STdeu, C_STrsu, C_STcau >$$

donde,

$C_SON(ii)-ARTias$: componentes del subsistema óptico material artefáctico de la ingeniería ambiental sanitaria;

C_STabu : componentes del sistema técnico de captación, tratamiento y abastecimiento de agua potable;

C_STdru : componentes del sistema técnico de saneamiento, depuración y vertido de aguas residuales urbanas;

C_STdeu : componentes del sistema técnico de aguas pluviales y escorrentías urbanas;

C_STrsu : componentes del sistema técnico de recogida, transporte y tratamiento de residuos sólidos urbanos;

C_STcau : componentes del sistema técnico de control y reducción de la contaminación del aire y acústica en núcleos urbanos.

$$C_SON(iii)-CINias = < CIN^0-COPIas, CIN^{1-4}-Aias, CIN^{1-4}-Cias, CIN^{1-4}-PIas, CIN^{1-4}-Gias >$$

donde,

$C_SON(iii)-CINias$: componentes del subsistema óptico del complejo institucional de la ingeniería ambiental sanitaria;

$CIN^0-COPias$: instituciones de las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria, como nivel 0 de complejidad óptica de este subsistema;

$CIN^{1-4}-Aias$: complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de la actividad académico-docente;

$CIN^{1-4}-Cias$: complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de las actividades de cambio o I+D+i de la ingeniería ambiental sanitaria;

$CIN^{1-4}-Pias$: complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de las actividades productivas de la ingeniería ambiental sanitaria;

$CIN^{1-4}-Gias$: complejos institucionales, desde el nivel de complejidad óptica 1 hasta el 4, de las actividades de gestión y control del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria.

$C_SON(iv)-TOPias = < TOP-MURBias, TOP-MNATias >$

donde,

$C_SON(iv)-TOPias$: componentes del subsistema óptico del sistema situado o toposistema de la ingeniería ambiental sanitaria;

$TOP-MURBias$: componentes del toposistema del medio urbano o medio ambiente construido, incluyendo como subgrupos la población ($TOP-MURBpob$), los artefactos constructivos o construcciones ($TOP-MURBart$) y los del complejo institucional urbano ($TOP-MURBcin$);

$TOP-MNATias$: componentes del toposistema del supersistema ecológico, también como $TOP-ECOLias$.

Sistemas semióticos de lenguajes naturales ($SLNias$), como:

$C_SLNias = < COPias, LN^0-ORDn, LN^{1-4}-ORDn, LN^{1-3}-CIEn, LN^{1-4}-TECn >$

donde,

$COPias$: comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria, formadas por agentes humanos intencionales capaces de compartir determinados sistemas semióticos (lenguajes);

LN^0-ORDn : componentes de nivel léxico 0, caracteres alfanuméricos de tipo n;

$LN^{1-4}-ORDn$: componentes de lenguaje natural ordinario desde nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 4, correspondientes a un mismo idioma n (ej. castellano, inglés...);

$LN^{1-3}-CIEn$: componentes de lenguaje natural especial científico, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 3, correspondientes a 'n' como una o varias disciplinas científicas;

$LN^{1-4}-TECn$: componentes de lenguaje natural especial tecnológico, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 4, correspondientes a 'n' como una o varias disciplinas tecnológicas ingenieriles.

Sistemas semióticos de lenguajes formales (SLF): matemáticos e informáticos

$$C_SLF-MATias = < COPIas, LF^{0-4}-MATx, LNias^{0-3}, SG^{0-4}-SIMias >$$

donde,

$C_SLF-MATias$: componentes del sistema semiótico del lenguaje formal matemático en la ingeniería ambiental sanitaria;

COPIas : comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria;

$LF^{0-4}-MATx$: conjunto de componentes característicos, desde el nivel léxico 0 hasta el nivel léxico 4, de un lenguaje matemático 'x' o varios lenguajes matemáticos;

$LNias^{0-3}$: conjunto de componentes, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 3, de un lenguaje natural de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SG^{0-4}-SIMti$: conjunto de componentes, desde el nivel léxico 0 hasta el 4, del sistema gráfico simbólico de la ingeniería ambiental sanitaria.

$$C_SLF-INFias = < COPIas, ARTF^4-TIC, LF^{0-4}-INFpro, LNias^{0-3}, SG^{0-2}-SIMias >$$

donde,

$C_SLF-INFias$: componentes del sistema semiótico de lenguaje formal informático en la ingeniería ambiental sanitaria;

COPIas : comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria;

$ARTF^4-TIC$: artefactos de tecnologías de información del nivel óntico 4 (ordenadores...);

$LF^{0-4}-INFpro-x$: conjunto de componentes característicos, desde el nivel léxico 0 hasta el nivel léxico 4, de un lenguaje informático de programación 'x';

$LNias^{0-3}$: conjunto de componentes adicionales, desde el nivel léxico 1 hasta el nivel léxico 3, de un lenguaje natural ingenieril;

$SG^{0-2}-SIMias$: conjunto de componentes adicionales, desde el nivel léxico 0 hasta el 2, de sistemas gráficos simbólicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

Sistemas semióticos gráficos (SG): icónicos y simbólicos

$C_SG-ICOias$ (componentes de sistema semiótico gráfico icónico)

$$C_SG-SIMias = < COPIas, SG^0-SIMias, SG^1-SIMias, SG^2-SIMias, LN^{1-2}-ORDn, SG^3-SIMias, SG^4-SIMias >$$

donde:

$C_SG-SIMias$: componentes de sistema semiótico gráfico simbólico en la ingeniería ambiental sanitaria;

COPIas : comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SG^0-SIMias$: componentes de nivel 0 del sistema gráfico simbólico;

$SG^1-SIMias$: componentes gráficos simbólicos unidimensionales (L o T);

$SG^2-SIMias$: componentes gráficos simbólicos bidimensionales (L^2 o LT);

$LN^{1-2}-ORDn$: código o leyenda en lenguaje natural que acompaña a la figura;

SG³-SIMias : componentes gráficos tridimensionales proyectados (L3 proyectado en L2 o L2T);
 SG⁴-SIMias : componentes tetradimensionales, tipo L3 proyectado en L2 incluyendo la dimensión temporal (T).

Sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria (SEPias), como:

$$C_SEPias = \langle SLNias, SLFias, SGias, TF^n-Mias, TCE^{1-5}-CIEc, TCE^{1-5}-TEC1x, TCE^{1-5}-TEC2x, TCE^{1-5}-ING1y, TCE^{1-5}-ING2y, FC^{1-3}-ING1opimi, FC^{1-4}-ING1opei, FC^{1-5}-ING1i, FC^{1-5}-ING2opi, FC^{1-5}-ING2rei, FC^{1-5}-ING2i \rangle$$

donde,

C_SEPias : componentes del sistema epistémico de la ingeniería ambiental sanitaria;

SLNias : componentes-sistema de los lenguajes naturales en la ingeniería ambiental sanitaria;

SLFias : componentes-sistema de lenguajes formales en la ingeniería ambiental sanitaria;

SGias : componentes-sistema de sistemas gráficos en ingeniería ambiental sanitaria;

TFⁿ-Mias : componentes de trasfondo formal matemático, en diferentes niveles epistemológicos;

TCE¹⁻⁵-CIEc : componentes (nivel epistémico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico científico, de una o varias disciplinas científicas ‘c’;

TCE¹⁻⁵-TEC1x : componentes (nivel epistémico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico tecnológico primario, de una o varias disciplinas tecnológicas ‘x’;

TCE¹⁻⁵-TEC2x : componentes (nivel epistémico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico tecnológico secundario, de una o varias disciplinas tecnológicas ‘x’;

TCE¹⁻⁵-ING1y : componentes (nivel epistémico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico ingenieril primario, de una o varias disciplinas ingenieriles ‘y’;

TCE¹⁻⁵-ING2x : componentes (nivel epistémico 1 al 5) de trasfondo de conocimiento específico ingenieril secundario, de una o varias disciplinas ingenieriles ‘y’;

FC¹⁻³-ING1opim-ias : en su caso, componentes (nivel epistémico 1 al 3) de fondo de conocimiento ingenieril primario operacional-implícito de la ingeniería ambiental sanitaria;

FC¹⁻⁴-ING1ope-ias : en su caso, componentes (nivel epistémico 1 al 4) de fondo de conocimiento ingenieril primario operacional-explicito de la ingeniería ambiental sanitaria;

FC¹⁻⁵-ING1ias : componentes (nivel epistémico 1 al 5) del fondo de conocimiento ingenieril primario de la ingeniería ambiental sanitaria;

FC¹⁻⁴-ING2op-ias : en su caso, componentes (nivel epistémico 1 al 4) de fondo de conocimiento ingenieril secundario operacional de la ingeniería ambiental sanitaria;

FC¹⁻⁴-ING2re-ias : en su caso, componentes (nivel epistémico 1 al 4) de fondo de conocimiento ingenieril secundario de la ingeniería ambiental sanitaria;
 FC¹⁻⁵-ING2ias : componentes (nivel epistémico 1 al 5) del fondo de conocimiento ingenieril secundario de la ingeniería ambiental sanitaria.

Sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria (*SMEias*), como:

$C_SMEias = < SLNias, SLF-MATias, SLF-INFias, SG-ICOias, SG-SIMias, MF-CONias, MF-DOCias, MCP-PYEias, MCP-ANAIas, MCP-CALias, MCP-REPias, MCP-EVAias, MCP-DISias, MC-DISinv, MC-DISinn, MP-DISias, MP-RECias, MP-ARTias, MP-PROias, MP-ORGias, MP-GESias, MP-CONias, MG-ADMias, MG-EVAias, MG-CONias >$

donde,

C_SMEias : componentes del sistema metodológico de la ingeniería ambiental sanitaria;

SLNias : componentes-sistema de lenguajes naturales de la ingeniería ambiental sanitaria;

SLF-MATias : componentes-sistema de lenguajes formales matemáticos de la ingeniería ambiental sanitaria;

SLF-INFias : componentes-sistema de lenguajes formales informáticos de la ingeniería ambiental sanitaria;

SG-ICOias : componentes-sistema de sistemas gráficos icónicos de la ingeniería ambiental sanitaria;

SG-SIMias : componentes-sistema de sistemas gráficos simbólicos de la ingeniería ambiental sanitaria;

MF-CONias : métodos de conservación y gestión documental de la ingeniería ambiental sanitaria;

MF-DOCias : métodos formativos docentes-académicos en la ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-PYEias : métodos (en cambio y producción) de prueba y error en ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-ANAIas : métodos (en cambio y producción) de análisis en ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-CALias : métodos (en cambio y producción) de cálculo en ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-REPias : métodos (en cambio y producción) de representación en ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-EVAias : métodos (en cambio y producción) de evaluación en ingeniería ambiental sanitaria;

MCP-DISias : métodos (en cambio y producción) de diseño en ingeniería ambiental sanitaria;

MC-DISinv : métodos de diseño para investigación ingenieril sanitaria ambiental;

MC-DISinn : métodos de diseño para innovación ingenieril sanitaria ambiental;

MP-DISias : métodos de diseño para la producción en ingeniería ambiental sanitaria;

MP-RECias : métodos de producción orientados al recurso en ingeniería ambiental sanitaria;
 MP-ARTias : métodos de producción orientados al artefacto en ingeniería ambiental sanitaria;
 MP-PROias : métodos de producción orientados al producto (bienes o servicios) en ingeniería ambiental sanitaria;
 MP-ORGias : métodos de organización de la producción en ingeniería ambiental sanitaria;
 MP-GESias : métodos de gestión de la producción en ingeniería ambiental sanitaria;
 MP-CONias : métodos de control en la producción en ingeniería ambiental sanitaria;
 MG-ADMias : métodos de administración en la gestión del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria;
 MG-EVAias : métodos de evaluación (externa) en la gestión del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria;
 MG-CONias : métodos de control en la gestión del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria.

Sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria (*SAXias*), como:

$C_SAXias = \langle SLN-ORD, SLN-TECias, SLF-LOG, VB-HBias, VB-HPias, VB-MORias, VB-COGias, VB-ESTias, VI-ias, VC-TECias, VC-CULias, VC-ECONias, VC-POLias, VC-ECOLias, VA-OBias, CPR-COPias, CTEias, NL-TEC, NL-ECON, NL-POL, NL-ECOL \rangle$

donde,

C_SAXias : componentes del sistema axiológico de la ingeniería ambiental sanitaria;

SLN-ORD : componente-sistema de lenguaje natural ordinario;

SLN-TECias : componente-sistema de lenguaje natural técnico en la ingeniería ambiental sanitaria;

SLF-LOG : componente-sistema de lenguaje formal lógico;

VB-HBias : valores básicos humanos biológicos en la ingeniería ambiental sanitaria;

VB-HPias : valores básicos humanos psicológicos en ingeniería ambiental sanitaria;

VB-MORias : valores básicos morales en actividad de ingeniería ambiental sanitaria;

VB-COGias : valores básicos cognitivos en la actividad de ingeniería ambiental sanitaria;

VB-ESTias : valores básicos estéticos en la ingeniería ambiental sanitaria;

VI-ias : valores ingenieriles (incluye los valores ontológicos, epistemológicos, metodológicos, axiológicos, éticos y praxiológicos) característicos de la ingeniería ambiental sanitaria;

VC-TECias : valores contextuales (internalizados) de la ingeniería ambiental sanitaria, procedentes del sistema tecnológico no ingenieril;

VC-CULias : valores contextuales internalizados del sistema cultural;

VC-ECONias : valores contextuales (internalizados) del sistema económico;
 VC-POLias : valores contextuales (internalizados) del sistema político;
 VC-ECOLias : valores contextuales (internalizados) del sistema ecológico;
 VA-OBias : objetivos, como valores articulados, del sistema de la ingeniería ambiental sanitaria;
 CPR-COPias : códigos deontológicos de las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria;
 CTEias : códigos y normas técnicas de la ingeniería ambiental sanitaria;
 NL-TEC : normas legales pertinentes del sistema tecnológico no ingenieril;
 NL-ECON : normas legales pertinentes del sistema económico;
 NL-POL : normas legales pertinentes del sistema político;
 NL-ECOL : normas legales relativas al sistema ecológico.

Sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria (*SETias*)

$C_SETias = < SLN-ORD, SLN-TECias, SLF-LOG, VBias, VI-ias, VCias, VA-PRias, VA-OBias, VA-FIias, VA-CRIas, CEMias, CPR-COPias, CTEias, NL-SEC, NL-GEN >$

donde,

C_SETias : componentes del sistema ético de la ingeniería ambiental sanitaria;
SLN-ORD : componente-sistema de lenguaje natural ordinario empleado;
SLN-TECias : componente-sistema de lenguaje natural técnico de la ingeniería ambiental sanitaria;
SLF-LOG : componente-sistema de lenguaje formal lógico empleado, en su caso;
 VBias : valores (y antivalores) básicos en ingeniería ambiental sanitaria;
 VI-ias : valores (y antivalores) ingenieriles, que incluye los valores ontológicos, epistemológicos, metodológicos, axiológicos, éticos y praxiológicos característicos de la ingeniería ambiental sanitaria;
 VCias : valores (y antivalores) contextuales internalizados de la ingeniería ambiental sanitaria;
 VA-PRias : principios (valores articulados) de la ingeniería ambiental sanitaria;
 VA-OBias : objetivos (valores articulados) de la ingeniería ambiental sanitaria;
 VA-FIias : fines (valores articulados) de la ingeniería ambiental sanitaria;
 VA-CRIas : criterios (valores articulados) de la ingeniería ambiental sanitaria;
 CEMias : código ético-moral de individuos de las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria;
 CTEias : códigos técnicos ingenieriles de las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria;
 CPR-COPias : códigos profesionales o deontológicos de las comunidades profesionales de la ingeniería ambiental sanitaria;
 NL-SEC : normas legales sectoriales del área de intervención de la ingeniería ambiental sanitaria;
 NL-GEN : normas legales generales de aplicación a las actividades de la ingeniería ambiental sanitaria, internalizadas desde los sistemas político (NL-POL), económico (NL-ECON), cultural (NL-CUL), del supersistema social (NL-SOC), o del sistema ecológico (NL-ECOL).

Entorno del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas)

$$E_S^2INGas = < S^2SOC [SOCpol, SOCeco, SOCcul], S^2ECOL, S^2TOP >$$

donde,

E_S^2INGas : entorno (supersistemas) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria;

S^2SOC : supersistema social, que integra el sistema político ($SOCpol$), sistema económico ($SOCeco$) y el sistema cultural ($SOCcul$);

S^2ECOL : supersistema ecológico;

S^2TOP : supersistema tópico, como supersistema entorno del toposubsistema óptico, excluyendo el ámbito de los supersistemas anteriores.

Estructura (endo y exoestructura) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas)

$$S_S^2INGas = < rMATias, rENEias, rINFias [rINF-SIN, rINF-SEM, rINF-PRA] >$$

donde,

S_S^2INGas : estructura (endo y exoestructura) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, en donde la endoestructura responde a las relaciones (C-C) entre los componentes-sistema, y la exoestructura a las relaciones (C-E) de componentes-sistema con entorno;

$rMATias$: relaciones de materia, de naturaleza física, química o biológica, entre sistemas (o subsistemas) concretos del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, o bien entre éstos y su entorno;

$rENEias$: relaciones de energía, de naturaleza física o química, entre componentes-sistema (o subsistemas) concretos del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, o bien entre éstos y su entorno;

$rINFias$: relaciones de información entre componentes-sistema (o subsistema) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, o bien con su entorno, pudiendo distinguirse los tipos de relaciones informativas sintácticas o estructurales ($rINF-SIN$), relaciones informativas semánticas ($rINF-SEM$), y relaciones informativas pragmáticas ($rINF-PRA$), pudiendo encontrarse entre estas últimas las de tipo descriptivo o representativo ($rINF-PRAdes$), de tipo práctico ($rINF-PRApra$) o de tipo valorativo o evaluativo ($rINF-PRAAval$).

Mecanismos del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas)

$$M_S^2INGas = < SPRA-Aias, SPRA-Cias [CID, CIN], \\ SPRA-Pias [PPR, PCO, POP], SPRA-Gias >$$

donde,

M_S^2INGas : mecanismos del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria;

$SPRA-Aias$: sistema funcional praxiológico académico-docente de la ingeniería ambiental sanitaria;

SPRA-Cias: sistema funcional praxiológico de cambio ingenieril en la ingeniería ambiental sanitaria, que incluye el subsistema de investigación y desarrollo (*SPRA-CIDias*), y el subsistema de innovación (*SPRA-CINias*);

SPRA-Pias: sistema funcional praxiológico productivo de la ingeniería ambiental sanitaria, que incluye el subsistema de proyectos (diseño) (*SPRA-PPRias*), el subsistema de construcción (*SPRA-PCOias*) y el de operación (*SPRA-POPIas*) de los sistemas técnicos (socio-técnicos) característicos (*STabu*, *STdru*, *STdeu*, *STrsu*, *STcau*) de la ingeniería ambiental sanitaria;

SPRA-Gias : sistema funcional praxiológico de gestión y control de los sistemas componentes y del conjunto del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (*S²INGas*).

8 CONCLUSIONES

Las conclusiones se presentan en relación con las tres partes del trabajo: i) bases para una elucidación filosófica de tecnologías; ii) una elucidación filosófica sistemista de la ingeniería; y iii) caso de una elucidación filosófica sistemista de la ingeniería ambiental sanitaria. Una conclusión preliminar es que, aunque el título de la investigación ‘Una elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria’ es suficientemente descriptivo, si en este momento tuviera que volver a hacerlo, lo haría como ‘Una elucidación filosófica sistemista de actividades tecnológicas ingenieriles (ingeniería). Aplicación al caso de la ingeniería civil-ambiental sanitaria’.

Tengo que reconocer que cuando se planteó la investigación como una elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria, estaba razonablemente convencido de que habría disponibles distintos métodos de elucidación filosófica de actividades científicas y tecnológicas, de que la filosofía de la ingeniería sería una disciplina relativamente madura y desarrollada, e incluso de que ya habría un corpus razonablemente importante de investigaciones y reflexiones filosóficas sobre ingeniería civil e ingeniería ambiental. Sin embargo, nada resultó como creí.

Por tal motivo, este trabajo tiene unas dimensiones algo mayores de lo ordinario, e incluso de lo aconsejable. El motivo es que para llegar finalmente a presentar una elucidación filosófica de la ingeniería ambiental sanitaria, antes tuve que explorar muy diferentes caminos (en particular desde diferentes filosofías de la tecnología), hasta disponer de un marco para la elucidación filosófica (de enfoque sistemista que combina fundamentalmente aportaciones de Bunge y Quintanilla) de actividades tecnológicas. De ahí pasé a elaborar un nuevo modelo, que llamo Bunge-Quintanilla, de elucidación filosófica sistemista en donde la actividad tecnológica, en este caso la ingeniería, se entiende como un sistema complejo formado por un sistema óntico material, por sistemas semióticos mixtos y por sistemas conceptuales, al que se suman los sistemas funcionales praxiológicos de la ingeniería. En este momento, ya se me advirtió de que a alguien le podría parecer que estaba matando moscas a cañonazos.

Pero, a pesar de todo, creo que no tenía otra forma mejor de elucidar la ingeniería ambiental sanitaria que descender desde un nuevo modelo, muy general, pasando por un modelo definido de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería, hasta la ingeniería ambiental sanitaria. Una actividad ingenieril que, por otra parte, tiene un campo de actuación y una importancia social tales, que podría competir (teóricamente) con cualquier otra disciplina ingenieril de alto nivel, o incluso con cualquier disciplina científica.

En todo caso, de forma general, creo que este trabajo viene a proponer –si se me permite– un tipo inédito (en lo que se me alcanza) de ‘equipamiento’ filosófico de enfoque sistemista, que puede aplicarse a actividades tecnológicas, desde los niveles más genéricos hasta los más específicos de las ingenierías, incluyendo sus sistemas técnicos característicos.

8.1 SOBRE LA PARTE 1ª: BASES PARA UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA DE TECNOLOGÍAS

Se entiende que, para desarrollar una elucidación filosófica, puede partirse de las propuestas de Wittgenstein (1921), para quien la filosofía es una actividad esencialmente elucidatoria, siguiendo a través de la elucidación filosófica conceptual de Carnap (1950) desde el *explicandum* hasta el *explicatum*, y hasta la elucidación filosófica y el análisis conectivo (sistemista) de Strawson (1992). Esta triplete sería el punto de partida de esta elucidación filosófica.

He asumido que la ingeniería, como objeto de elucidación filosófica, puede concebirse como una especificación de la tecnología, particularmente de las tecnologías físicas. También que el mundo de la ingeniería puede contemplarse, inspirándose en Bunge, como un mundo de sistemas. En este mundo, el método tecnológico ingenieril o, si se quiere, el método ingenieril, es antes de nada un método de conceptualización que se articula en la tríada problema-diseño-modelo. En cierto modo, un método filosófico elucidatorio y un método ingenieril pueden compartir esa estrategia de investigación en tres pasos, pudiendo establecerse una suerte de correlación entre el *explicandum* como problema, y el *explicatum* como modelo diseñado.

Una elucidación filosófica de la tecnología puede partir, naturalmente, desde la orilla de la filosofía de la tecnología. Más concretamente desde el lugar en donde están las propuestas de Quintanilla en filosofía de la tecnología, como sistema de acciones, de orientación práctica y ontología sistémica. Este lugar está compartido –parcialmente– con las propuestas filosóficas sistemistas de Bunge, quien sugiere tempranamente (Bunge, 1963: 91) que el filósofo de orientación moderna “sabe que debe aprender de la ciencia y de la tecnología si quiere remozar las teorías del conocimiento y de la realidad; que puede criticar a la ciencia y a la tecnología (...) pero que debe hacerlo desde dentro; y advierte que puede colaborar constructivamente en la revolución científica, sea ayudando a advertir problemas sea ayudando a poner en limpio teorías y métodos”.

En el proceso de investigación, uno de los puntos luminosos ha surgido cuando he visto claramente la posibilidad de llegar a considerar como sistemas a algunas de las áreas más importantes de reflexión filosófica (ontología, epistemología, metodología, axiología...) en donde, además de destacar las obras de Bunge y Quintanilla, tienen un papel relevante las obras de Wenceslao González.

Lo anterior me ha permitido articular lo que he denominado ‘modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista’, desde el que se pretende elucidar filosóficamente, desde un enfoque radical sistemista, actividades humanas (sociales) como la tecnología. Viendo también que parece posible aplicar las bases del modelo de elucidación filosófica sistemista para la elucidación de los diferentes tipos de tecnologías, no solamente de las tecnologías físicas (ingenierías), son o también de las biotecnologías y de las sociotecnologías, incluyendo asimismo las tecnologías especiales de la información y comunicación.

8.2 SOBRE LA PARTE 2ª: UNA ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA SISTEMISTA DE LA INGENIERÍA

Considero que puede describirse y representarse una tecnología ingenieril, o ingeniería, a partir de lo que he denominado modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de tecnologías. De acuerdo con este modelo, la ingeniería –como *explicatum*– podría verse como un sistema (socio-técnico) complejo, conformado a su vez por los siguientes sistemas: un sistema óntico material; sistemas semióticos (lenguajes y sistemas gráficos); y cuatro sistemas conceptuales (epistémico, metodológico, axiológico y ético). Todos estos sistemas interactúan gracias a cuatro sistemas funcionales praxiológicos (académico-docente, de

cambio o I+D+i, de producción, y de gestión), como sistemas de acciones genéricas. Todos y cada uno de estos sistemas –que forman el sistema complejo ingenieril– se hacen necesarios para dar cuenta, mediante enfoque filosófico sistemista CESM (componentes, entorno, estructura y mecanismo), de una determinada actividad ingenieril que reúne una serie de sistemas técnicos específicos, que caracterizan, convencionalmente, a esa ingeniería.

El conjunto de sistemas que forman el sistema complejo ingenieril (S^2ING) representan lo que serían los cuatro aspectos que componen, en un momento determinado (análisis sincrónico estático), una ingeniería: el mundo material de la ingeniería; la cultura inmaterial (conceptual) ingenieril; los lenguajes y sistemas gráficos, como puente semiótico, entre el mundo material y la cultura inmaterial ingenieril; y las acciones (generales) intencionales de transformación ingenieril, o práctica ingenieril. Este modelo sistemista también permitiría dar cuenta (análisis diacrónico cinemático y dinámico) de la estructura del cambio, y de las causas, fuerzas, poderes y motivaciones de los cambios en el sistema complejo de la ingeniería.

He entendido que la forma más adecuada de emprender una elucidación filosófica sistemista, según este modelo Bunge-Quintanilla, sería identificando primeramente el mundo material de la ingeniería, como sistema óptico material de la ingeniería, y por tanto sus componentes, entorno y estructura. Generalmente, cuando se piensa en el mundo material de la tecnología o de la ingeniería se piensa en artefactos. Pero los artefactos, aunque parte importante del mundo material ingenieril, solamente son una parte.

En este análisis del mundo material ingenieril he intentado ir por orden, de modo que el primer subsistema (i) óptico material es el de los seres humanos, que denomino como de ‘agencia humana de individuo y comunidades’ (AGHC), con diferentes niveles de complejidad óptica. El segundo subsistema (ii) óptico material sería el artefáctico, en donde se trata sobre los artefactos, de acuerdo a una propuesta de lógica productiva recursos-artefactos-productos (R-A-P), combinando estas tres formas de presentarse lo artefáctico, con diferentes niveles de complejidad. Una vez disponibles los subsistemas de agencia humana (relativamente sencilla) y el subsistema artefáctico, puede emprenderse la identificación de los componentes del subsistema del complejo institucional (CIN). Finalmente estaría el subsistema de componentes situados o toposistema (TOP).

Puede señalarse que, en términos de complejidad comparativa, mientras que en el complejo institucional (CIN) el nivel más alto de complejidad es el cuarto (CIN^4), en cambio en el subsistema artefáctico el nivel más alto de complejidad óptica sería el quinto ($ARTF^5$). De esto puede sugerirse que el grado de complejidad óptica artefactual ya supera –al menos en una magnitud apreciable– al del complejo institucional, y por tanto a la capacidad de control e incidencia del complejo artefáctico desde el complejo institucional. De ahí la necesidad de nuevas formas institucionales que resuelvan este desnivel.

Siguiendo el orden del proceso elucidatorio, una vez disponible el sistema óptico material de la ingeniería ($SONti$) se ha procedido a elucidar los sistemas semióticos del mundo ingenieril, dominado por lenguajes (naturales y formales). En primer lugar, porque los lenguajes (así como también los sistemas gráficos) actúan como sistemas puente (concreto-abstracto) entre el mundo material de la ingeniería y la cultura inmaterial ingenieril. De modo que los componentes materiales del lenguaje también forman parte (como un grupo especial) de los componentes del sistema óptico material, directamente relacionados con agentes intencionales (tanto del subsistema de agencia humana de individuo y comunidades como del complejo institucional). Se han identificado tres grupos de sistemas semióticos: lenguajes naturales ($SLNti$), lenguajes formales ($SLFti$) y sistemas gráficos ($SLGti$). A su vez, el

conjunto de las entidades conceptuales abstractas de estos sistemas semióticos formaría la cultura inmaterial ingenieril.

Una vez disponibles tanto el sistema óntico material como los sistemas semióticos de la ingeniería, pueden abordarse el conjunto de sistemas conceptuales que formarían la cultura inmaterial ingenieril, considerando un sistema epistémico (*SEPti*), como un sistema cognoscitivo que incluye diferentes tipos de componentes (con niveles progresivos de complejidad): todos los trasfondos de conocimiento, así como el fondo de conocimiento ingenieril, tanto primario como secundario. Se identifica también un sistema metodológico (*SMEti*), en el que aparecen como componentes diferentes métodos ingenieriles (que están relacionados con las cuatro áreas de práctica ingenieril). El tercer sistema es el axiológico (*SAXti*) que refleja el sistema de valores (internos y externos). Y para terminar con los sistemas culturales conceptuales, estaría el sistema ético de la ingeniería (*SETti*).

El sistema complejo de la ingeniería se completa con lo que serían sus mecanismos (M) generales: cuatro sistemas funcionales praxiológicos (*SPRAti*), que dan cuenta de la práctica ingenieril, en un sentido amplio. Digo esto porque el sentido restringido de la práctica ingenieril suele centrarse en la ingeniería de producción, mientras que en este modelo se tienen en cuenta: la ingeniería académico-docente (*SPRA-Ati*), la de cambio o I+D+i (*SPRA-Cti*), la de producción (*SPRA-Pti*), y de gestión (*SPRA-Gti*).

De tal modo, el sistema complejo de la ingeniería (S^2ING) podría representarse, en una primera aproximación, como un conjunto de diferentes sistemas:

$$S^2ING = \langle SONti [i-iv], SLNti, SLFti, SGti, SEPti, SMEti, SAXti, SETti, SPRAti [A, C, P, G] \rangle$$

Sin embargo, como se ha señalado, la condición de sistema complejo (sistema de sistemas) de la ingeniería, debe integrar no solamente los componentes-sistema, sino también las relaciones intersistémicas e intrasistémicas, así como las relaciones con el entorno y los mecanismos característicos del sistema complejo de la ingeniería. Por esto, de acuerdo con el modelo general bungeano de sistemas CESM (componentes, entorno, estructura y mecanismos), un modelo (μ) de elucidación filosófica sistemista Bunge-Quintanilla del sistema complejo ingenieril (S^2ING), en un momento t dado, podría representarse (como *explicatum*) por la siguiente cuaterna: $\mu (S^2ING)t = \langle C(S^2ING), E (S^2ING), S(S^2ING), M(S^2ING) \rangle$

donde,

$C(S^2ING)$: componentes-sistema del sistema complejo ingenieril, entre los que se encuentran el sistema óntico material (*SONti*); los sistemas semióticos, tanto lingüísticos, agrupados como lenguajes naturales (*SLNti*) y lenguajes formales (*SLFti*), como gráficos (*SGti*); además de los sistemas culturales conceptuales epistémico (*SEPti*), metodológico (*SMEti*), axiológico (*SAXti*) y ético (*SETti*);

$E(S^2ING)$: entorno del sistema complejo ingenieril, destacando el supersistema social (S^2SOC) que integra el sistema político (*SOCpol*), económico (*SOCeco*) y el cultural (*SOCcul*), así como el supersistema ecológico (S^2ECOL);

$S(S^2ING)$: estructura del sistema complejo ingenieril, donde se dan relaciones mediante flujos (materia, energía, información) entre los sistemas componentes (endoestructura) y de los sistemas componentes con su entorno (exoestructura); y

$M(S^2ING)$: mecanismos del sistema complejo ingenieril o colección de procesos característicos, representados por los sistemas funcionales praxiológicos (*SPRAti*), entre los que se identifican el académico-docente (*SPRA-Ati*), de cambio ingenieril (*SPRA-Cti*), de producción (*SPRA-Pti*) y de gestión y control (*SPRA-Gti*) del sistema complejo ingenieril.

Esta descripción de la ingeniería en tanto actividad tecnológica puede referirse tanto a un determinado momento temporal, como incluir aquellos aspectos que permiten poner de manifiesto la historia e historicidad de los diferentes sistemas, mediante análisis diacrónico dinámico.

8.3 SOBRE PARTE 3ª: CASO ELUCIDACIÓN FILOSÓFICA DE INGENIERÍA AMBIENTAL SANITARIA

El caso elucidado, a partir de la ingeniería sanitaria como *explicandum*, no pretende aportar avances en los conocimientos disponibles sobre ingeniería ambiental sanitaria, sino exponer o desplegar a modo de *explicatum* la estructura (componentes, entorno y relaciones) y mecanismos, como sistemas funcionales, que pueden ser característicos de la ingeniería ambiental sanitaria, como una forma previa para avanzar más en la clarificación de aspectos de la actividad y en los conocimientos específicos de la ingeniería ambiental sanitaria.

Una ingeniería determinada, como en este caso la ingeniería ambiental sanitaria, es el resultado de una cierta convención temática (cómo llamamos a una determinada actividad ingenieril), como ocurre también cuando hablamos de la ingeniería civil o de la ingeniería minera, por citar dos ejemplos. Tal vez los elementos que mejor pueden identificar finalmente a una determinada ingeniería sean sus sistemas técnicos característicos, cuyos componentes materiales pueden ser elucidados –en primer lugar– desde el subsistema óntico material artefáctico (SON[iii]-ARTias).

Estos sistemas técnicos característicos serían, para el caso de la ingeniería ambiental sanitaria: i) sistema técnico de abastecimiento de agua potable (STabu); ii) sistema técnico de saneamiento y depuración de aguas residuales urbanas (STdru); iii) sistema técnico de drenaje de aguas pluviales y escorrentía urbana (STdeu); iv) sistema técnico de gestión de residuos sólidos urbanos (STrsu); y v) sistema técnico de control y reducción de la contaminación atmosférica urbana (STcau). La elucidación detallada de los componentes materiales de estos sistemas técnicos permite disponer de una descripción detallada y valiosa que aporta una visión genuinamente sistémica de la ingeniería.

La ingeniería ambiental sanitaria, como caso de aplicación del modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista, ha resultado ser un interesante banco de pruebas para dicho modelo. Se ha comprobado que las determinaciones generales para los sistemas de una ingeniería, pueden especificarse adecuadamente en este nivel de una ingeniería concreta (ingeniería ambiental sanitaria).

Así, el sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas), reuniría los sistemas materiales, sistemas mixtos, sistemas conceptuales y sistemas funcionales que se han identificado en el modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista. El sistema óntico material de la ingeniería ambiental sanitaria ($SONias$) estaría a su vez conformado por los subsistemas de agencia humana individual y comunidades (AGHC), artefáctico (ART), del complejo institucional (CIN) y toposistema (TOP). Entre los sistemas semióticos, mixtos concretos-abstractos, estarían los lenguajes naturales ($SLNias$), los lenguajes formales ($SLFias$) y los sistemas gráficos o de representación ($SGias$). Entre los sistemas conceptuales se caracterizan el sistema epistemológico ($SEPIas$), el sistema metodológico ($SMEias$), el sistema axiológico ($SAXias$) y el sistema ético ($SETias$). Finalmente estarían los sistemas funcionales praxiológicos, que abarcan el académico-docente ($SPRA-Aias$), el de cambio ingenieril ($SPRA-Cias$), el de producción ($SPRA-Pias$) y el de gestión ($SPRA-Gias$).

De tal modo, el sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas) podría representarse, muy sintéticamente, como un conjunto de sistemas:

$$S^2-INGas = \langle SONias [AGH, ART, CIN, TOP], SLNias, SLFias, SLGias, SEPIas, \rangle$$

SMEias, SAXias, SETias, SPRAias [*A, C, P, G*] >

No obstante, este conjunto de sistemas que forma el sistema complejo de la ingeniería ambiental, de acuerdo con lo expuesto, podría describirse y representarse como *explicatum* el caso de la ingeniería ambiental sanitaria para un momento *t* dado (s. XXI), como un modelo (μ) de elucidación filosófica sistemista Bunge-Quintanilla del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria (S^2INGas), organizado según la cuaterna CESM (componentes⁷⁰⁸, entorno, estructura y mecanismos):

$$\mu(S^2INGas)_{xxi} = \langle C(S^2INGas), E(S^2INGas), S(S^2INGas), M(S^2INGas) \rangle$$

donde,

$C(S^2INGas)$: componentes-sistema del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, entre los que se encuentran el sistema óptico material (*SONias*); los sistemas semióticos, tanto lingüísticos, agrupados como lenguajes naturales (*SLNias*) y lenguajes formales (*SLFias*), como gráficos (*SGias*); además de los sistemas conceptuales epistemológico (*SEPIas*), metodológico (*SMEias*), axiológico (*SAXias*) y ético (*SETias*);

$E(S^2INGas)$: entorno del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, destacando el supersistema social (S^2SOC) que integra el sistema político (*SOCpol*), económico (*SOCeco*) y el cultural (*SOCcul*), así como el supersistema ecológico (S^2ECOL);

$S(S^2INGas)$: estructura del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria, donde se dan relaciones mediante flujos (materia, energía, información) tanto entre los componentes-sistema (endoestructura), y los componentes-sistema con el entorno (exoestructura);

$M(S^2INGas)$: mecanismos del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria o colección de procesos característicos, representados por los sistemas funcionales praxiológicos (*SPRAias*), entre los que se identifican el académico-docente (*SPRA-Aias*), de cambio ingenieril (*SPRA-Cias*), de producción (*SPRA-Pias*), y de gestión y control (*SPRA-Gias*) del sistema complejo de la ingeniería ambiental sanitaria.

Como resultado de la elucidación filosófica sistemista de la ingeniería ambiental sanitaria se obtiene un detallado desglose de los distintos elementos considerados (identificados, descritos y representados) y que, se entiende, constituye la confirmación razonable de la validez del modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica tanto en su aplicación más general (tecnología e ingeniería), como en la concreta aplicación del modelo del nivel ingenieril al caso concreto y específico de la ingeniería ambiental sanitaria.

En mi opinión, tanto el conjunto de los sistemas como cada uno de ellos permiten describir, representar y analizar realidades complejas o algunas parcelas determinadas de la ingeniería ambiental sanitaria. Esto puede contribuir a mejorar su comprensión sistémica (componentes, entorno, estructura y mecanismos) y contribuir al análisis de problemáticas complejas, e incluso podría contribuir a orientar sobre soluciones disponibles.

Un ejemplo de lo mencionado, de cara al análisis de compromisos de alto nivel como son los Objetivos del Desarrollo Sostenible, en particular el objetivo 6 (agua limpia y saneamiento), es que se observa que los sistemas funcionales praxiológicos, especialmente en el caso del de gestión (*SPRA-Gias*), permitirían aproximar un modelo teórico para, en

⁷⁰⁸ Como se ha observado en el texto, a la hora de desarrollar cada componente-sistema del sistema complejo ingenieril (S^2INGas) se han incluido, además de los componentes (C) de cada sistema, también su entorno (E) y estructura (S). Sin embargo, para reducir algo la complejidad de esta representación, he optado aquí por incluir para cada sistema sólo los subsistemas, en su caso, y los componentes (C), y no incluir el entorno (E) y estructura (S), que siempre pueden consultarse en el desarrollo de cada sistema que se hace a lo largo del capítulo.

correspondencia con las metas, y para el ámbito territorial considerado, llegar a: lograr el acceso al agua potable en condiciones de seguridad y a un precio asequible (meta 6.1), así como el resto de las metas perseguidas.

Como reflexión adicional, y derivado de los análisis realizados, se plantea que la ingeniería civil-ambiental sanitaria o, como se ha venido expresando la ‘ingeniería ambiental sanitaria’ (como *explicatum*) también podría llegar a identificarse, en su caso, con la denominación de ‘ingeniería ambiental urbana’.

8.4 CONSIDERACIONES FINALES

A partir de lo anterior, se entiende que puede hablarse con propiedad de un modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de actividades. Desde el que se puede intentar dar cuenta, de forma muy general, de las tecnologías. Y desde el que puede especificarse al siguiente nivel, de las tecnologías ingenieriles (o ingenierías). Y que, finalmente, el modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista puede aplicarse a casos concretos o ingenierías en el nivel específico, como es el presente caso de la ingeniería ambiental sanitaria.

En la elucidación filosófica sistemista de los sistemas funcionales o sistemas praxiológicos (como lo he denominado) se pone de manifiesto la importancia de los estados de cosas de entrada y salida (*inputs* y *outputs*, respectivamente), y de los agentes responsables de las acciones de transformación de los estados de cosas. Aquí se advierte la importancia radical de los bucles de control o autorregulación (de balance, aunque también podrían ser de retroalimentación positiva o negativa) que contribuyen a preservar las propiedades y las funciones praxiológicas. En mi opinión, esta sería una cuestión de importancia singular para investigaciones futuras; ya que el carácter dinámico y adaptativo de los sistemas, tanto naturales como artificiales, es una de las cuestiones más importantes que modula el enfoque sistémico de las últimas décadas (*cfr.* Booker *et al.*, 2005).

Durante los desarrollos de la elucidación, tanto para el caso más genérico de la ingeniería, como para el más específico de la ingeniería ambiental sanitaria, se ha observado que los sistemas semióticos gráficos simbólicos se revelan como un poderoso instrumento de representación, por lo que puede ser por completo relevante para este nuevo modelo de elucidación filosófica sistemista, facilitador de pensamiento creativo y crítico. Por la experiencia de esta investigación, la representación gráfica ha posibilitado análisis, debates y discusiones que serían prácticamente imposibles de haber trabajado solamente con lenguajes naturales. Espero que sigan contribuyendo a activar los debates.

Aunque esto pueda parecer excesivamente arriesgado, se entiende que métodos de elucidación filosófica sistemista, como el propuesto, también podrían tener un valor adicional a la hora de plantear sistemas expertos de aprendizaje de máquina (*machine learning*), apoyándose en ontologías (tipo ENVO, u otras de las presentadas), y en redes conceptuales que permitan un vaciado de diversas aportaciones filosóficas del pensamiento humano. Esto en la medida en que se utilicen recursos de sistemas semióticos que permitan una construcción de modelos más complejos, y más precisos.

En mi opinión, a partir del conjunto de resultados del trabajo de investigación, se presentan –además de lo ya sugerido– cuatro líneas de trabajo en las que se podría (y creo que se debería) seguir avanzando en el futuro inmediato. La primera en cuanto al desarrollo y formulación ampliada del marco del modelo Bunge-Quintanilla elucidación filosófica sistemista de tecnologías, desde el que ulteriormente pudieran desarrollarse investigaciones filosóficas en biotecnologías, en sociotecnologías, y en tecnologías de la información y comunicación.

Una segunda línea de trabajo futura podría centrarse en la mejora y difusión del modelo Bunge-Quintanilla de elucidación filosófica sistemista de la ingeniería, desde la que podría plantearse la elaboración de un texto como introducción a lo que podría denominarse ‘una filosofía sistemista de la ingeniería’. Esto debido, especialmente, a la necesidad de contar con materiales docentes y de investigación en filosofía de la ingeniería que estén más próximos al enfoque ingenieril, y en donde se muestre que, más allá de la ética ingenieril, hay mucha filosofía práctica para la ingeniería. La importancia de lo que digo se observa mejor en las palabras del académico ruso Vitali Gorokhov (1998): “en la actualidad y en el futuro, debemos transformar la ingeniería y la educación tecnológica, centrándonos en los sistemas y en la reflexión.”

La línea de trabajo tercera podría ser, para el campo de la ingeniería ambiental sanitaria, la ampliación de la elucidación filosófica sistemista hasta el nivel de los sistemas técnicos característicos de esta ingeniería. Ello con el objeto de elaborar un texto introductorio (‘una filosofía sistemista de la ingeniería ambiental urbana’, por ejemplo) que pudiera tener utilidad en las funciones académico-docente, de cambio (I+D+i), de producción y de gestión de la ingeniería ambiental sanitaria.

La cuarta línea de trabajo, que no necesariamente la última a desarrollar, sería la elaboración de una propuesta, más detallada y precisa que la empleada hasta el momento, de un sistema gráfico de representación, adecuado y común, de cara a futuros proyectos de elucidaciones filosóficas sistemistas de actividades tecnológicas. Pero de tal forma, que incluso pudiera llegar a emplearse en elucidación filosófica sistemista de otras actividades humanas muy relacionadas con la técnica, como la científica, o la artística.

BIBLIOGRAFÍA

- Agazzi, Evandro (1996): *El bien, el mal y la ciencia. Las dimensiones éticas de la empresa científico-tecnológica*, Madrid, Tecnos.
- Agazzi, E. (1998): “El impacto epistemológico de la tecnología”, *Argumentos de Razón Técnica*, nº 1, pp. 17-31.
- Agazzi, E. (2001): “Filosofía técnica y filosofía práctica”, pp. 35-51, en: Vega *et al.* (eds.), 2001.
- Aibar, E. y Quintanilla, M.A. (eds.) (2012): *Ciencia, tecnología y sociedad*, Madrid, CSIC-Trotta.
- Álvarez-Campana, José Manuel (2018): “Un marco conceptual científico-filosófico para la ingeniería ambiental sanitaria”, Comunicación al XXXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), octubre de 2018 en Guayaquil (Ecuador).
- Álvarez-Campana, J.M., Alcázar, Javier y Moreno, Denny (2017): “Economía circular y desarrollo sostenible: retos y oportunidades de la ingeniería ambiental”, Comunicación al *V Congreso Internacional de Economía*, Ecuador-Guayaquil, julio, 2017.
- Álvarez-Campana, J.M., Alcázar, J. y Moreno, D. (2017): “Propuesta de un modelo axiológico relacional: evaluación ambiental de obras de ingeniería, binomio población-territorio, y patrimonio industrial y de obra pública”, Comunicación al VII Congreso TICCIH As Pontes (A Coruña, España), julio de 2017. The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage (TICCIH), 2017.
- Álvarez-Campana, J.M., Suárez, Joaquín y Jácome, Alfredo (2014): “Enfoque filosófico de la ingeniería ambiental sanitaria: una aportación para una gobernanza más sostenible del ciclo del agua urbana”, Comunicación al *XXXIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, AMICA – AIDIS, Monterrey, México, 2014.
- Álvarez-Campana, J.M., Suárez, J. y Jácome, A. (2016): “Marco conceptual dinámico de la ingeniería ambiental sanitaria: cambios ontológicos, epistemológicos y axiológicos en la formación de la ingeniería sanitaria (s. XVIII-XIX)”, *Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA)*, Madrid, 2016.
- Anderson, Albert A. (1995): “Why Prometheus Suffers: Technology and the Ecological Crisis”, *Techné: Journal of Society of Philosophy and Technology*, vol. 1, nº 1-2, Fall.
- Aracil, Javier (1986): *Máquinas, sistemas y modelos*, Madrid, Tecnos.
- Aracil, J. (1999): “¿Es menester que los ingenieros filosofen?”, *Argumentos de Razón Técnica*, nº 2, pp. 29-49.
- Aracil, J. (dir.) (2006): *Curso sobre Ingeniería y pensamiento*, Sevilla, Fundación El Monte.
- Aracil, J. y Gordillo, Francisco (1997): *Dinámica de sistemas*, Madrid, Alianza Editorial.
- Arellano Díaz, J. (2002): *Introducción a la ingeniería ambiental*, México D.F., Ed. Alfaomega, Instituto Politécnico Nacional.
- Ayestarán, I. (2009): “La segunda revolución copernicana de Kant a Kuhn: el paradigma de la sostenibilidad y la ética del cambio climático”, *Δαίμων. Revista Internacional de Filosofía*, nº 47, 65-81.
- Bahadori, A. y Smith, S.T. (2016): *Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment*, Springer.
- Baker, M.N. (1948): *The Quest for Pure Water*, New York: American Water Works Assn.
- Baker, L. R. (2004): “The Ontology of Artifacts,” *Philosophical Explorations*, 7: 99–111.
- Bauer, Johannes y Herder, Paulien M. (2009): “Designing Socio-Technical Systems”, en: Meijers (ed.), 2009.
- Bertalanffy, Ludwig von (1976): *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*, México, Fondo de Cultura Económica.

- Beven, K. (2002): "Towards a coherent philosophy for modelling the environment", *Proc. Royal Society London. A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 458, pp. 1–20.
- Beven, K. (2011): "On the colour and spin of epistemic error (and what we might do about it)", *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, pp. 3123-3133.
- Beven, K. (2013): "A guide to good practice in modeling semantics for authors and referees", *Water Resources Research*, 49, pp. 5092-5098.
- Beven, K. (2013): "So how much of your error is epistemic? lessons from Japan and Italy", *Hydrological Processes*, 27, pp. 1677-1680.
- Bingham, P., Verlander, N. Q. y Cheal, M. J. (2004): "John Snow, William Farr and the 1849 outbreak of cholera that affected London: a reworking of the data highlights the importance of the water supply", *Public Health*, 118: 387-94.
- Blumenberg, Hans (1966): "Algunas dificultades de escribir una historia del espíritu de la técnica", pp. 9-51, en *Historia del Espíritu de la Técnica*, Valencia, Ed. Pre-textos, 2013.
- Boon, Mieke y Knuuttila, Tarja (2009): "Models as epistemic tools in engineering sciences", en: Meijers (ed.), 2009.
- Booker, L., Forrest, S., Mitchell, M. y Riolo, R. (eds.) (2005): *Perspectives on Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Oxford, Oxford University Press.
- Brennan, Andrew y Lo, Yeuk-Sze (2016): "Environmental Ethics", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta.
- Brey, P. (2010): "Philosophy of Technology after the Empirical Turn", *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 14:1.
- British Standard Institution (BSI) (1993): *Glossary of Building and Civil Engineering Terms*, Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Brody, H., Russell, M., Vintén-Johansen, P., Paneth, N. y Rachman, S. (2000): "Map-making and myth-making in Broad Street: the London cholera epidemic, 1854.", *Lancet*, 356: 64-8.
- Broncano, Fernando (comp.) (1995): *Nuevas meditaciones sobre la técnica*, Madrid, Trotta.
- Broncano, F. (2000): *Mundos artificiales. Filosofía del cambio tecnológico*, México, Paidós/UNAM.
- Broncano, F. (2005): "La agencia técnica", *Revista CTS*, n° 5, vol. 2, junio.
- Broncano, F. (2006): "Diseño y representación en la ingeniería", en: Aracil (dir.), 2006.
- Broome, T.H. (2010): "Metaphysics of Engineering", pp. 295-304, en: Poel y Goldberg (eds.) *Philosophy and Engineering*, 2010.
- Brown, J.R. y McLean, D.M. (1967): "Water-borne diseases: An historical review", *Medical Services Journal of Canada*, 23, no. 8, pp. 1011-1026.
- Bucciarelli, Louis (2000): "Object and Social Artifact in Engineering Design", en: *The Empirical Turn in the Philosophy of Technology*, Kroes, P. & Meijers, A., (eds). Elsevier Science, 2000.
- Bucciarelli, L.L. (2003): *Engineering Philosophy*, Delft, Delft University Press.
- Bucciarelli, L.L. (2004): *Designing Engineers*, Cambridge, MA., MIT Press.
- Buch, Anders (2007): "Knowledge and Learning in Engineering Practice", pp. 161-178, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Buchanan, Richard (2009): "Thinking about design: an historical perspective", en: Meijers (ed.), 2009.
- Buede, D.M. y Miller, W.D. (2016): *The Engineering Design of Systems: Models and Methods*, New Jersey, Wiley.
- Buj, A. (2003): "La vivienda salubre. El saneamiento de poblaciones (1908) en la obra del ingeniero militar Eduardo Gallego Ramos", *Scripta Nova*, Vol. VII, núm. 146(012), agosto.
- Bunge, Mario (1963): "Tecnología, ciencia y filosofía", *Anales de la Universidad de Chile*, enero-abril.
- Bunge, M. (1969): "The Metaphysics, Epistemology and Methodology of Levels", en: R.W. Gerard (ed.), 1969.
- Bunge, M. (1979): *Treatise on Basic Philosophy. Ontology II: A World of Systems*, Dordrecht/Boston/Lancaster, D. Reidel Publishing Company.
- Bunge, M. (1980): *Epistemología. Curso de actualización*, Barcelona, Ed. Ariel.
- Bunge, M. (1985): *Treatise on Basic Philosophy. Volume 7. Part II: Life Science, Social Science and Technology, Epistemology & Methodology III: Philosophy of Science and Technology*, Dordrecht/Boston/Lancaster, D. Reidel Publishing Company.

- Bunge, M. (2001): *Diccionario de filosofía*, México, Siglo XXI.
- Bunge, M. (2002): *Ser, saber, hacer*, México, Paidós/UNAM.
- Bunge, M. (2004): *Emergencia y convergencia. Novedad cualitativa y unidad del conocimiento*, Barcelona, Gedisa.
- Bunge, M. (2009): “Dos enfoques de la Ciencia: Sectorial y Sistémico”, *Rev. Real Academia de Ciencias, Zaragoza*, 64: 51-63.
- Bunge, M. (2012): *Tratado de filosofía. Vol. IV, Ontología 2: Un Mundo de Sistemas*, Barcelona, Editorial Gedisa.
- Bunge, M. (2012): *Filosofía para médicos*, Barcelona, Ed. Gedisa.
- Burstein, David (2003): “Ingeniería ambiental”, en: Corbitt (ed.), 2003.
- Cardona Suárez, C.A. (2001): “Elucidación por ejemplos en Wittgenstein”, *Universitas Philosophica*, 36, pp. 55-83, junio.
- Carnap, Rudolph (1962): *Logical foundations of Probability*, Chicago, University of Chicago Press.
- Carpenter, Stanley R. (1995): “When are Technologies Sustainable?”, *Techné: Journal of Society of Philosophy and Technology*, vol. 1, nº 1-2, Fall.
- Cazau, Pablo (2011): “Evolución de las relaciones entre la epistemología y la metodología de investigación”, *Paradigmas*, ene.-jun., Vol. 3, No. 1, 109-126.
- Cerdá, Ildefonso (1876): *Teoría general de la urbanización y aplicación de sus principios y doctrinas a la reforma y ensanche de Barcelona. Vol. II: La urbanización como un hecho concreto. Estadística urbana de Barcelona*, 1876, Madrid, Instituto de Estudios Fiscales, 1968.
- Chadwick, Edwin (1842): *Report on an inquiry into sanitary condition of the labouring population of Great Britain*, London, W. Clowes and Sons.
- Christensen, S.H. y Erno-Kjohede, Erik (2007): “The Knowledge of Engineers”, pp. 103-122, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Christensen, S.H., Meganck, M. y Delahousse, B. (eds.) (2007): *Philosophy in Engineering*, Aarhus, Academica.
- Cilliers, P. (2005): “Introduction. Classic paper: The architecture of complexity”, *E:CO*, Issue Vol. 7 Nos. 3-4, pp. 138-154.
- Coffa, J. Alberto (1975): “Dos concepciones de la elucidación filosófica”, *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, Vol. 7, No. 21, pp. 43-67, Dec.
- Colegio de ICCP-Madrid (ed.) (2012): *Retos de la ingeniería civil: sociedad, economía y medio ambiente*.
- Comesaña, M. (1995): “Análisis y elucidación: un módico homenaje a Simpson”, *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, vol. 27, No. 79, pp. 55-65, Apr.
- Cook, Noam S.D. (2008): “Design and Responsibility: The Interdependence of Natural, Artifactual, and Human Systems”, en: Vermaas *et al.* (ed.), 2008.
- Corbitt, Robert A. (ed.) (2003): *Manual de referencia de la ingeniería ambiental*, Madrid, McGraw-Hill.
- Corbusier, Le (1943): *Principios de urbanismo. La Carta de Atenas*, Barcelona, Ed. Planeta, 1993.
- Coyle, Murphy y Grimson, William (2007): “Engineering Science as opposed to Applied Science and Natural Science”, pp. 139-160, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Cuello Nieto, César y Durbin, Paul T. (1995), “Sustainable Development and Philosophies of Technology”, *Techné: Journal of Society of Philosophy and Technology*, vol. 1, nº 1-2, Fall.
- Cuevas, Ana (2000): *Caracterización del conocimiento tecnológico y su desarrollo: hacia una epistemología de las ciencias ingenieriles*, Tesis Doctoral, Dpto. Lógica y Filosofía de la Ciencia, Universidad del País Vasco.
- Cuevas, A. (2003): “Las ciencias ingenieriles como ‘ciencias para la aplicación’. El caso de la resistencia de materiales”, *Argumentos de Razón Técnica*, núm. 6, pp. 161-180.
- Cuevas, A. (2003): “La epistemología y el conocimiento útil”, *Ciencia y Sociedad*, vol. XXIX, nº 3, jul-sep., pp. 329-365.
- Cuevas, A. (2005): “El papel de las ciencias ingenieriles en el desarrollo de nuevas tecnologías”, *Revista Laguna*, 16; marzo, pp. 45-58.

- Cuevas, A. (2008): "Una axiología para las ciencias tecnológicas", *ArtefaCToS*, Vol. 1, núm. 1, pp. 49-70, nov.
- Cunningham, William P. y Cunningham, Mary Ann (2006): *Principles of Environmental Science. Inquiry and Applications*, 3ª ed., Boston, McGraw-Hill.
- Curtis, T.P., Head, I.M. y Graham, D.W. (2003): "Theoretical Ecology for Engineering Biology. Are we standing on the threshold of a renaissance in designing biological systems?", *Environ. Sci. Technol.*, 37 (3), pp. 64A-70ª.
- Davis, Mackenzie Leo y Masten, Susan J. (2005): *Ingeniería y ciencias ambientales*, México, McGraw-Hill.
- Davis, M.L. y Masten, S.J. (2014), *Principles of Environmental Engineering and Science*, Boston, McGraw-Hill.
- Denton, J. Bailey (1849): *Sewerage of London*.
- Denton, J.B. (1854): *Land Drainage and drainage Systems*.
- Denton, J.B. (1855): *Underdrainage of Land; its progress and results*.
- Denton, J.B. (1858): *The effect of Underdrainage on Arterial Channels and Outfalls*.
- Denton, J.B. (1863): *The Discharge from Underdrainage* (Telford Medal, Institution of Civil Engineers).
- Denton, J.B. (1865): *The Marshes of South Italy*.
- Denton, J.B. (1866): *The Water Question*.
- Denton, J.B. (1869): *Sanitary Works*.
- Denton, J.B. (1870): *Sewage Farming*.
- Denton, J.B. (1871): *Sewage the Fertilizer of Land, and Land the Purifier of Sewage*.
- Denton, J.B. (1872): *Underdrainage and the steps taken to develop and maintain its effects*.
- Denton, J.B. (1873): *Intermittent Downward Filtration and Irrigation*.
- Denton, J.B. (1874): *Sanitary Science applied to Towns and Rural Districts*.
- Denton, J.B. (1874): *Storage of Water*.
- Denton, J.B. (1881): *Sewage Disposal*.
- Denton, J.B. (1877): *Sanitary Engineering*, London, F.N. Spon.
- Dias, Priyan (2013): "The Engineers's Identity Crisis: *Homo Faber* or *Homo Sapiens*?", pp. 139-150, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Didier, Christelle (2007): "Questioning Whistle-blowing as a Response to the Engineer's Dilemma of Loyalty", pp. 263-276, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Didier, C. (2009): "Engineering Ethics", pp. 426-43, en: Olsen *et al.* (eds.), 2009.
- Didier, C. (2010): "Professional Ethics Without a Profession: A French view on Engineering Ethics", en: Poel y Goldberg (eds.), 2010.
- Dixon, John R. (1966): *Design Engineering*, New York, McGraw-Hill.
- Dorst, C.H. y Overveld, C.W.A.M. van (2009): "Typologies of design practice", en: Meijers (ed.), 2009.
- Dupuy, J. P. (2009): "The Critique of the Precautionary Principle and the Possibility for an 'Enlightened Doomsaying'", pp. 210-213, en: Olsen *et al.* (eds.), 2009.
- Eassie, W. (1872): "Reports on Sanitary Engineering in Houses, Hospitals, and Public Institutions", *The British Medical Journal*, June 1, pp. 593.
- Echeverría, Javier (1994): *Telépolis*, Barcelona, Ed. Destino.
- Echeverría, J. (2010): "De la filosofía de la ciencia a la filosofía de la tecnociencia", *Δαίμων. Revista internacional de Filosofía*, nº 50, pp. 31-41.
- Eco, Umberto (1991): *Tratado de semiótica general*, Barcelona, Ed. Lumen, 1991.
- Ellis, Bryan, Chocat, Bernard, Fujita, Shoichi, Rauch, Wolfgang y Marsalek, Jiri (2004): *Urban Drainage. A Multilingual Glossary*, International Water Association (IWA), 2004.
- Enrong, Pan (2013): "Object-Oriented Method and the Relationship Between Structure and Function of Technical Artifacts", pp. 329-342, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Escario, J.L. (1940): *Saneamiento de poblaciones y Depuración de Aguas Residuarias*, Madrid, Ed. Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

- Evans, Rick (2013): "Engineering as Performance: An 'Experiential Gestalt' for Understanding Engineering", pp. 27-38, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Faden, R. y Shebaya, S. (2016): "Public Health Ethics", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.).
- Falguera, J.L., Zilhao, Martínez y Sagüillo (eds.) (2003): *Palabras y pensamientos: una mirada analítica*, I Jornadas Hispano-Portuguesas de Filosofía Analítica, Santiago de Compostela, 2003.
- Falguera, José Luis (2011): "Consideraciones de índole ontoepistemosemántica", *Metatheoria*, Vol. 1, Núm. 2, pp. 39-62.
- Feng y Feenberg (2008): "Thinking about Design: Critical Theory of Technology and the Design Process", en: Vermaas *et al.* (ed.), 2008.
- Fernández Sánchez, Gonzalo (2010): "Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la dirección integrada de proyectos de ingeniería civil" Tesis doctoral, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.
- Fisher, Saul (2016): "Philosophy of Architecture", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.).
- Fletcher, T., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S. Trowsdale, S., *et al.* (2015): "SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage", *Urban Water Journal*, vol. 12, No. 7, 525-542.
- Flores, Albert (1980): "The Professional Rights of Engineers", *Technology and Society*, vol. 8, 4, December.
- Floridi, Luciano (2011): "Constructionism, the maker's knowledge tradition and knowledge engineering", pp. 26-31, en: RAEng, *Philosophy of Engineering* vol. 2, 2011.
- Font, J. (1852): *Consideraciones sobre los inconvenientes que irrojan a la salud de los jornaleros y a la pública de Barcelona las fábricas, y en especial las de vapor*, Barcelona, Imp. T. Gorchs, 1852.
- Franssen, Maarten, Vermaas, Pieter E., Kroes, Peter y Meijers, Anthonie W.M. (eds.) (2016): *Philosophy of Technology after the Empirical Turn*, Dordrecht, Springer.
- Freeman, A.M. (2001): "Chapter 19. Economics", pp. 277-290, en: Jamieson, D. (ed.), 2001.
- Fresquet, J.L. (ed.) (1990): *Francisco Méndez Álvaro (1806-1883) y las ideas sanitarias del liberalismo moderno*, Madrid, Ministerio de Salud y Consumo.
- Friedrich, K. (2009): "Conference Report" in Society for Philosophy and Technology (SPT) 2009: "Converging Technology, Changing Societies", Enschede, The Netherlands.
- Gainsburg, J., Rodriguez, C. y Bailey, D.E. (2010): "A 'knowledge profile' of an engineering occupation: temporal patterns in the use of engineering knowledge", *Engineering Studies*, Vol. 2, No. 3, December.
- Galarraga, M. (2003): "Las relaciones entre ciencia, tecnología y ecologismo", *Argumentos de Razón Técnica*, nº 6, pp. 193-209.
- García, J., García, H., López, D., Sánchez, F., Vidal, E., Alier, M. y Cabré, J. (2013): "La sostenibilidad en los proyectos de ingeniería", *ReVisión* (AENUI), vol. 6 nº 2, pp. 91-100.
- Garrison, Ervan (1999): *History of Engineering and Technology. Artful Methods*, New York, Routledge.
- Gerard, R.W. Gerard (ed.) (1969): *Hierarchical Structures*, New York, Wilson & Wilson.
- Gerhard, William Paul (1898): *Sanitary Engineering*, New York.
- Gerhard, W.P. (1899): *Sanitary Engineering of Buildings*, New York, W.T. Comstock.
- Gerhard, W.P. (1909): *Sanitation and Sanitary Engineering*, New York.
- Glynn, H.J. y Heinke, G.W. (1999): *Ingeniería ambiental*, México, Prentice-Hall.
- Goldberg, D.E. (2013): "Is Engineering Philosophically Weak?", pp. 391-406, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Goldberg, D.E. & MacCarthy, N. (workshop co-chairs) (2008): "Abstracts of the Workshop on Philosophy & Engineering", en: Workshop on Philosophy & Engineering, WPE2008, London.
- Gómez Cívicos, J.I. (2008): "Ingeniería verde: doce principios para la sostenibilidad", *Ingeniería Química*, nº 458, pp. 168-175.
- González, Wenceslao J. (1992): "Elucidación filosófica y actividad analítica", *Daimon Rev. Int. de Filos.*, 5, pp. 201-210.

- González, W.J. (ed.) (1996): *Acción e Historia. El objeto de la Historia y la teoría de la Acción*, A Coruña: Publicaciones Universidade da Coruña.
- González, W.J. (1996): "Caracterización del objeto de la Ciencia de la Historia y bases de su configuración metodológica", en: González (ed.), 1996.
- González, W.J. (1997): "Progreso científico e innovación tecnológica", *Arbor*, vol. 157, núm. 620.
- González, W.J. (2003): "El empirismo moderado en Filosofía Analítica: una réplica a P.F. Strawson", pp. 207-238, en: Falguera, Zilhao, Martínez y Sagüillo (eds.) *Palabras y pensamientos: una mirada analítica*, I Jornadas Hispano-Portuguesas de Filosofía Analítica, Santiago de Compostela, 2003.
- González, W.J. (2005): *Science, Technology and Society: A Philosophical Perspective*, A Coruña, Ed. Netbiblo.
- González, W.J. (2005): "The Philosophical Approach to Science, Technology and Society", pp. 3-49, en: Wenceslao J. González (ed.), 2005.
- González, W.J. (ed.) (2011): *Conceptual revolutions: From cognitive sciences to medicine*, A Coruña, Netbiblo.
- González, W.J. (2011): "Conceptual changes and scientific diversity: The role of historicity", en: González (ed.), 2011.
- González, W.J. (ed.) (2015): *New Perspectives on Technology, Values and Ethics*, Springer.
- González, W.J. (2015): "On the Role of Values in the Configuration of Technology: From Axiology to Ethics", en: González (ed.), 2015.
- González, W.J. (2015): *Philosophico-Methodological Analysis of Prediction and its Role in Economics*, Heidelberg, Springer.
- Gorokhov, V. (1998): "A new interpretation of technological progress", *Techné: Soc. for Philosophy and Technology*, vol. 4, nº 1, Fall.
- Gorp, van y Poel, Ibo van de (2008): "Deciding on Ethical Issues in Engineering Design", en: Vermaas *et al.* (ed.), 2008.
- Greber, Henry (1966): "The Philosophy of Engineering", *Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE) Spectrum*.
- Gregory, Malcom S. (1971): *History and Development of Engineering*, London, Logman.
- Grimson, William (2007): "Engineering – An Inherently Philosophical Enterprise", pp. 89-102, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Guldi, Jo y Armitage, David (2016): *Manifiesto por la Historia*, Madrid, Alianza Editorial.
- Gunn, Alastair S. (2010): "Integrity and the Ethical Responsibilities of Engineers", en: Poel y Goldberg (eds.), 2010.
- Hansson, S. O. (2009): "Philosophy of Medical Technology", pp. 1275-1300, en: Meijers, A. (ed.), 2009.
- Harris, Charles E. (2013): "Engineering Ethics: From Preventive Ethics to Aspirational Ethics", pp. 177-188, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Harris, Charles E., Pritchard, Michael S. y Rabins, Michael J. (2009): *Engineering Ethics. Concepts and Cases*, Belmont, Wadsworth.
- Hernández Lehmann, Aurelio (2015): *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*, Madrid, Ed. Garceta y Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Hilde, T.C. (2002): "The Empirical Turn in the Philosophy of Technology (review)", *Technology and Culture*, Volume 43, Number 4, pp. 840-841, October.
- Hodges, Wilfrid (2009): "Functional modelling and mathematical models: a semantic analysis", en: Meijers (ed.), 2009.
- Holland, A. (2001): "Chapter 27. Sustainability", pp. 390-401, en: Jamieson, D. (ed.), 2001.
- Hughes, Jesse (2009): "Practical reasoning and engineering", en: Meijers (ed.), 2009.
- Illies, C. (2009): "Built Environment", pp. 289-294, en: Olsen *et al.* (eds.), 2009.
- Illies, C. & Ray, N. (2009) "Philosophy of Architecture", pp. 1199-1256, en: Meijers, A. (ed.), 2009.
- Jabareen, Yosef (2008): "A New Conceptual Framework for Sustainable Development", *Environment Development and Sustainability*, 10(2):179-192.
- Jabareen, Y. (2009): "Building a Conceptual Framework: Philosophy, Definitions, and Procedure", *International Journal of Qualitative Methods*, 8 (4), p. 51.

- Jaime, Ricardo Vicente y Lizcano, Adriana R. (2015): "Trabajo colaborativo mediado por TIC en el aprendizaje de dinámica de sistemas" *DYNA*, vol. 82, n° 189.
- Jamieson, Dale (ed.) (2001): *A Companion to Environmental Philosophy*, Blackwell Publishers Ltd.
- Jaramillo, D.F. (2014): "Filosofía de la ingeniería: una disciplina profesional en construcción", *Revista INGE CUC*, Vol. 10, N° 1, pp. 9-18, junio.
- Jutglar, A. (ed.) (1984): *Condiciones de vida y trabajo obrero en España a mediados del siglo XIX*, pp. 57-143, Barcelona, Anthropos.
- Kempe, M. (2006): "New England Water Supplies: A Brief History", *Journal of the New England Water Work Association*, vol. 120, n° 3, September.
- Kesselring, T. (2009): "Development Ethics", pp. 416-421, en: Olsen *et al.* (eds.), 2009.
- Kikkas, Kaido (2007): "Community Ethics and Challenges to Intellectual Property", pp. 291-310, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Kiely, Gerard (1999): *Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*, McGraw-Hill.
- Kirby, R.S., Withington, S., Darling, A.B. y Kilgour, F.G. (1956): *Engineering in History*, New York, Dover, 1990.
- Koelega, Dick G.A. (1995): "Technology, Ecology, Autonomy and the State", *Techné: Journal of Society of Philosophy and Technology*, vol. 1, n° 1-2, Fall.
- Koen, Billy Vaughn (2013): "Debunking Contemporary Myths Concerning Engineering", pp. 115-138, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Kroes, Peter (2009): "Foundational issues of engineering design", en: Meijers (ed.), 2009.
- Kroes, P. (2009): "Introduction to a Philosophy of Engineering Design", en: Meijers (ed.), 2009.
- Kroes, P. (2009): "Engineering Design", en: Olsen (ed.) (2009).
- Kroes, Peter, Franseen, Maarten y Bucciarelli, L. (2009): "Rationality in design" de Kroes, en: Meijers (ed.), 2009.
- Kroes, Peter y Meijers, A. (eds.) (2000): *The Empirical Turn in the Philosophy of Technology*, Amsterdam, Elsevier Science.
- Kroes, Peter, Vermaas, Light y Moore (2008): "Design in Engineering and Architecture: Towards an Integrated Philosophical Understanding", en: Vermaas *et al.* (ed.), 2008.
- Kroesen, Otto y van der Zwaag, Sybrand (2010): "Teaching ethics to engineering students: from clean concepts to dirty tricks", en: Poel y Goldberg (eds.), 2010.
- Laszlo, Ervin (1972): *Introduction to Systems Philosophy. Toward a New Paradigm of Contemporary Thought*, New York, Harper.
- Laszlo, Ervin (2007): *El universo in-formado*, A Debate.
- Latham, B. (1884): *Sanitary Engineering. A guide to the construction of Works of Sewerage and House Drainage with Tables for Facilitating the Calculations of the Engineer*, New York, Engineering News Pub.
- Lawler, Diego (2002): *Las acciones técnicas y sus valores*, tesis doctoral, Universidad de Salamanca.
- Lawler, D. (2017): "La mirada praxiológica sobre la técnica", en: Lawler, Vaccari y Blanco (comp.), 2017.
- Lawler, D., Vaccari y Blanco (comp.) (2017): *La técnica en cuestión. Artificialidad, cultura material y ontología de lo creado*, Buenos Aires, Universidad Abierta Interamericana (UAI)-Ed. Teseo.
- Layton, Edwin T. Jr. (1971): *The Revolt of the Engineers: Social Responsibility and the American Engineering Profession*, Cleveland, Press of Case Western Reserve University.
- Layton, E.T. (1971): "Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th-century America", *Technology and Culture*, 12/4, October, pp. 562-80.
- Lewin, D. (1983): "Engineering Philosophy: The Third Culture?", *Leonardo*, vol. 16, n° 2, pp. 127-132.
- Li, Bo-Cong (2002): *An introduction to philosophy of engineering*, Zheng-zhou, Daxiang Press.
- Li, Bo-Cong (2010): "The Rise of Philosophy of Engineering in the East and the West", pp. 31-40, en: Poel & Goldberg (eds.), 2010.
- Li-Hua, R. (2009): "Definitions of Technology", pp. 18-22, en: Olsen *et al.* (eds.), 2009.

- Linares, P., Ramos, A. y Sánchez, P. (2009): “La ingeniería de la decisión como herramienta para la sostenibilidad”, pp. 389-396, en: Sancha (coord.) *El ingeniero del ICAI y el desarrollo sostenible*. Madrid, 2009.
- Liz, M. (1995): “Conocer y actuar a través de la tecnología”, pp. 23-52, en: Broncano (comp.), 1995.
- Liz, M. (2002): *Un Metafísico en Tecnolandia. Realidad, conocimiento y acción bajo nuevos puntos de vista*, Murcia, Ed. Universidad de Murcia.
- Lofrano, G. y Brown, J. (2010): “Wastewater management through the ages: A history of mankind”, *Science of the Total Environment*, 408, pp. 5254–5264.
- López Araiza, H. (2012): “Cómo y por qué una filosofía de la tecnología”, *Argumentos de Razón Técnica*, nº 15, pp. 111-124.
- López Piñeiro, J.M. (ed.) (1984): *Mateo Seoane y la introducción en España del sistema sanitario liberal*, Madrid, Ministerio de Sanidad y Consumo.
- Luegenbiehl, Heinz C. (2010): “Ethical Principles for Engineers in a Global Environment”, en: Poel y Goldberg (eds.), 2010.
- Lugo, Elena (1985): *Ética Profesional para la ingeniería*, Mayagüez, Puerto Rico, Librería Universal.
- Lynch, W.T. y Kline, R. (2000): “Engineering Practice and Engineering Ethics”, *Science, Technology, & Human Values*, Vol. 25, No. 2, pp. 195-225, Spring.
- Maarten, Franssen, Lokhorst, Gert-Jan y Poel, Ibo van de (2018): “Philosophy of Technology”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2018 Edition), Edward N. Zalta (ed.).
- Mac Berthouex, Paul y Brown, Linfield, C. (2005): *Statistics for Environmental Engineers*, Boca Raton, Flo., Lewis Pub.
- Mahan, Dennis Hart (1837): *Elementary Course of Civil Engineering. For the use of the Cadets of the United States*.
- Marcos, Alfredo (2001): *Ética ambiental*, Valladolid, Universidad de Valladolid.
- Marcos, A. (2010): *Ciencia y Acción. Una filosofía práctica de la ciencia*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Martin, Mike W. y Schinzinger, Roland (1983): *Ethics in Engineering*, New York, McGraw-Hill.
- Maruyama, Y. (2009): “Elucidation in Transition of Wittgenstein’s Philosophy”, Papers of the 32nd International Wittgenstein Symposium August 2009, Sprache und Welt - Language and World, ALWS.
- McCarthy, Natasha (2009): *Engineering. A Beginners Guide*, Londres, OneWorld Pub.
- McCuen, R.H. y Gilroy, K.L. (eds.) (2011): *Ethics and Professionalism in engineering*, New Jersey, Broadview Press.
- McNeil, Ian (ed.) (2002): *An Encyclopaedia of the History of Technology*, New York, Routledge.
- Meadows, Donella H. y Wright, Diana (ed.) (2009): *Thinking in Systems. A Primer*, London, Earthscan.
- Medina, M. (1995): “Tecnología y filosofía: más allá de los prejuicios epistemológicos y humanistas”, *Isegoría*, 12, pp. 180-197.
- Meganck, Martin (2007): “Introduction to Ethics and Engineering”, pp. 221-224, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Meganck, M. (2007): “Tools for Ethical Reflection”, pp. 225-244, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Meijers, Anthonie W.M. (ed.) (2009): *Philosophy of Technology and Engineering Science*, 2009.
- Meijers, A.W.M. (2009): “General introduction”, pp. 1-19, en: Meijers, A. (ed.), 2009.
- Melosi, Martin V. (2000): *The Sanitary City: Urban Infrastructure in America from Colonial Times to the Present*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- Melosi, M.V. (2001): *Effluent America Cities: Industry, Energy, and the Environment*, University of Pittsburgh Press.
- Melosi, M.V. (2004): *Garbage in the Cities: Refuse, Reform and the Environment*, The Pittsburgh University Press.
- Méndez Álvaro, Francisco (1853): *Consideraciones sobre la higiene pública y mejoras que reclama en España la higiene municipal*.
- Metcalf, L. y Eddy, H.P. (1914): *American Sewerage Practice. Vol. 1. Design of Sewers. Vol. 2. Construction of Sewers. Vol. 3. Disposal of Sewage*. New York, McGraw-Hill.

- Metcalf-Eddy (1981): *Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater*, McGraw-Hill, Inc.
- Metcalf-Eddy (1985): *Ingeniería Sanitaria. Redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales*, Barcelona, Labor.
- Metcalf-Eddy (1995): *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*, (3ª ed.) Barcelona, Labor.
- Michelfelder, Diane P., McCarthy, Natasha y Goldberg, David E. (eds.) (2013): *Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process*, Dordrecht, Springer.
- Mihelcic, James R. (2011): *Fundamentos de ingeniería ambiental*, México, Limusa Wiley.
- Miser, H.J. (1978): "Sociotechnical Systems: The New Engineering Frontier. A Sketch for an Engineering School Plan", *European Journal of Eng. Ed.*, 3, pp. 263-276.
- Mitcham, Carl (1988): "Ética ingenieril norteamericana", *Rev. Filosofía Univ. Costa Rica* XXVI (63, 64), pp. 57-63.
- Mitcham, C. (1989): *¿Qué es la filosofía de la tecnología?*, Barcelona, Anthropos.
- Mitcham, C. (1994): *Thinking through Technology: The Path between Engineering and Philosophy*, Chicago/London, The University of Chicago Press.
- Mitcham, C. (1998): "The Importance of Philosophy to Engineering", *Teorema*, vol. XVII/3, pp. 1-15.
- Mitcham, C. (2009): "A historico-ethical perspective on engineering education: from use and convenience to policy engagement", *Engineering Studies*, 1:1, 35-53.
- Mitcham, C. y Huning, A. (eds.) (1986): *Philosophy and Technology II. Information Technology and Computers in Theory and Practice*, Boston Studies Series in the Philosophy of Science, vol. 90, Dordrecht, D. Reidel Pub. Co.
- Monlau, P.F. (1847): *Elementos de Higiene Pública*, Barcelona, Imprenta Pablo Riera.
- Monlau, P.F. (1856): *Higiene industrial: ¿qué medidas puede dictar el gobierno a favor de las clases obreras*.
- Moriarty, Gene (2010): "The Focal Engineering Experience", pp. 343-353, en: Poel & Goldberg (eds.), 2010.
- Mosterin, Jesús (1993): *Filosofía de la cultura*, Madrid, Alianza Editorial.
- Moulines, C. Ulises (2009): "¿Es la filosofía una ciencia?", *ÁGORA*, Vol. 28, nº 2, p. 32.
- Müller, Roland (2009): "The notion of a model: a historical overview", en: Meijers (ed.), 2009.
- Mumford, Lewis (1961): *La ciudad en la historia. Sus orígenes, transformaciones y perspectivas*, Logroño, Pepitas de Calabaza, 2014.
- Muñoz, Vicenta y Jesús Álvarez (2012): *Bases de la ingeniería ambiental*, Madrid, UNED.
- Mutanen, Arto (2007): "Methodology of Engineering Science as a Combination of Epistemic, Ethical and Aesthetic Aspects", pp. 123-138, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Nanyan, Cao, Junbin, Su, Mingyan, Hu (2013): "Ethical Awareness in Chinese Professional Engineering Societies", pp. 203-214, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Newberry, Byron (2013): "Engineered Artifacts", pp. 165-176, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Newberry, B. (2016): "For the Benefit of Humanity: Values in Micro, Meso, Macro, and Meta Levels in Engineering", pp. 249-267, en: Franssen *et al.* (eds.), 2016.
- Nightingale, Paul (2009): "Tactic knowledge and engineering design", en: Meijers (ed.), 2009.
- Niiniluoto, Ilkka (1997): "Ciencia frente a tecnología: ¿Diferencia o identidad?", *Arbor*, CLVII, 620, Agosto, pp. 285-299.
- Nirmalakhandan, N. (2002): *Modeling Tools for Environmental Engineers and Scientist*, Boca Raton, FL, CRC Press.
- Norton, B.G. (2005): *Sustainability: a Philosophy of Adaptive ecosystem Management*, Chicago, University of Chicago Press.
- Odenbaugh, Jay (2016): "Conservation Biology", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.).
- Olsen, Jan Kyrre Berg, Pedersen, Stig Andur y Hendricks, Vincent F. (2009): *A Companion to the Philosophy of Technology*, Malden/Oxford, Blackwell Publishing Ltd.
- Organización Naciones Unidas (ONU) (2014): *La situación demográfica en el mundo, 2014. Informe conciso*, Nueva York.

- Organización Naciones Unidas (ONU) (2015): *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*.
- Ortega y Gasset, José (1926): *La rebelión de las masas*, Madrid, Revista de Occidente en Alianza Editorial, 1985.
- Ortega y Gasset, J. (1939): *Meditación de la técnica y otros ensayos sobre ciencia y filosofía*, Madrid, Revista de Occidente en Alianza Editorial, 1982.
- Osorio, Carlos A. (2008): *El determinismo tecnológico. Una reflexión crítica desde los sistemas tecnológicos*, tesis doctoral, Universidad de Oviedo.
- O'Sullivan, D. (2004): "Complexity Science and Human Geography", *Transactions of the Institute of British Geographers*, New Series, Vol. 29, No. 3, Sep., pp. 282-295.
- Pahl, G. y Beitz, W. (1996): *Engineering Design: A Systematic Approach*, Springer.
- Parodi, Giovanni (2010): "Multisemiosis y lingüística de corpus: artefactos (multi)semióticos en los textos de seis disciplinas en los corpus PUCV-2010", *RLA, Revista de lingüística teórica y aplicada*, 48 (2), pp. 33-70, II Sem.
- Parsons, Glenn (2008): "Nature, Aesthetic Values, and Urban Design: Building the Natural City", en: Vermaas *et al.* (ed.), 2008.
- Paz Maroto, J. (1946): *Ingeniería Sanitaria Urbanista. Alcantarillado y depuración de aguas residuales*, tomo III, Madrid, Ed. Diana Artes gráficas.
- Peavy, H.S., D.R. Rowe y G. Tchobanoglous (1985): *Environmental Engineering*, New York, McGraw-Hill.
- Peirce, Charles Sander (1893): "El icono, el índice y el símbolo", C.P. 2.301, 1893.
- Peña, A. (2004): "Medicina y filosofía: abordaje filosófico de algunos problemas de la medicina actual", *Anales de la Facultad de Medicina*, Univ. Nac. Mayor de San Marcos, vol. 65, nº 1, pp. 65-72.
- Peña, Gabriel (2011): "La filosofía de la ingeniería y la formación en ingeniería", *Lámpsakos*, No. 5, pp. 37-40. Ene-Jun.
- Pérez Gutiérrez, Mario (2000): *El fenómeno de la información. Una aproximación conceptual al flujo informativo*, Madrid, Ed. Trotta.
- Philbrick, E.S. (1881): *American Sanitary Engineering*, New York, The Sanitary Engineering, 1881.
- Phillips, A.D.M. (2004): "Denton, John Bailey (1814–1893)", *Oxford Dictionary of National Biography*.
- Pincetl, Stephanie (2015): "Cities as Novel Biomes: Recognizing Urban Ecosystem Services as Anthropogenic", *Frontiers in Ecology and Evolution*, December, vol. 3, art. 140.
- Pinto, V, Gili, R. y Velasco, F. (2015): *Historia del saneamiento de Madrid*, Madrid, Canal de Isabel II.
- Pirtle, Zachary (2013): "Engineering Innovation: Energy, Policy and the Role of Engineering", pp. 377-390, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Pitt, Joseph C. (2013): "Fitting Engineering into Philosophy", pp. 91-102, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Pleasants, Jacob y Olson, Joanne K. Olson (2018): "What is engineering? Elaborating the nature of engineering for K-12 education", *Science Education*, 103:145-166.
- Poel, Ibo van de (2007): "Ethics in Engineering Practice", pp. 245-262, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Poel, I.v.d. (2009): "Values in engineering design", en: Meijers (ed.), 2009.
- Poel, I.v.d. (2010): "Philosophy and Engineering: Setting the Stage", pp. 1-14, en: Poel & Goldberg (eds.), *Philosophy and Engineering. An Emerging Agenda*, 2010.
- Poel, I.v.d., y Goldberg, D.E. (eds.) (2010): *Philosophy and Engineering. An Emerging Agenda*, Dordrecht, Springer.
- Pols, Auke (2010): "Transferring responsibility through use plans", en: Poel y Goldberg (eds.), 2010.
- Poly, R., Healy, M., y Kameas, A. (eds.) (2010): *Theory and Applications of Ontology. Computer Applications*, Dordrecht, Springer.
- Poly, R. y Seibt, J. (eds.) (2010): *Theory and Applications of Ontology. Philosophical Perspectives*, Dordrecht, Springer.

- Poser, Hans (2000): "Perspectivas para una filosofía de la tecnología", *Éndoxa: series filosóficas*, UNED, nº 12, pp. 637-661.
- Poser, H. (2013): "The Ignorance of Engineers and How They Know It", pp. 3-14, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Pritchard, Michael S. (2009): "Professional standard in engineering practice", en: Meijers (ed.), 2009.
- Puertas, Jerónimo, Suárez, Joaquín y Anta, José (coords.) (2008): *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*, Madrid, CEDEX.
- Quintanilla, Miguel Ángel (1978): "El mito de la neutralidad de la ciencia. La responsabilidad del científico y el técnico", *El Basilisco*, núm. 1, marzo-abril, pp. 52-56.
- Quintanilla, M.A. (1988): "Bases para la filosofía de la técnica. (La estructura de los sistemas técnicos)", *ARBOR*, pp. 11-28.
- Quintanilla, M.A. (1989): *Tecnología: Un enfoque filosófico*, Madrid, Fundesco.
- Quintanilla, M.A. (1979): "El concepto de proceso tecnológico", *Arbor*, CLVII, ago., pp. 377-390.
- Quintanilla, M.A. (2002): "La democracia tecnológica", *Arbor*, CLXXIII, nov-dic., pp. 637-651.
- Quintanilla, M.A. (2005): *Tecnología: Un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Quintanilla, M.A. (2012): "Tecnología, cultura e innovación", pp. 103-136, en: E. Aibar y M.A. Quintanilla (eds.), 2012.
- Quintanilla, M.A. (2017): "¿Qué es y cómo se mide la cultura científica?", inédito.
- Quintanilla, M.A. (2017): "Tecnologías entrañables: un modelo alternativo de desarrollo tecnológico", en: Quintanilla, Parselis, Sandrone y Lawler, 2017.
- Quintanilla, M.A. (2020): "The material nature of software", en prensa, Springer, 2020.
- Quintanilla, M.A., Parselis, Martin, Sandrone, Darío y Lawler, Diego (2017): *Tecnologías entrañables: ¿es posible un modelo alternativo de desarrollo tecnológico?*, Los Libros de la Catarata, OEI.
- Ramos Gorostiza, J.L. (2014): "Edwin Chadwick, el movimiento británico de salud pública y el higienismo español", *Rev. de Historia Industrial*, nº 55, año XXIII, 2014.2, p. 22.
- Rankine, W.J.M. (1862): *A Manual of Civil Engineering*, London, Griffin, Bohn & Cia.
- Rapp, Friedrich (1981): *Filosofía analítica de la técnica*, Barcelona, Editorial Alfa.
- Rapp, F. (1986): "The Theory-ladenness of Information" (pp. 49-62), en: Mitcham, C. y Huning, A. (eds.), 1986.
- Rapp, F. (1995): "Explosion of Needs, Quality of Life, and the Ecology Problem", *Techné: Journal of Society of Philosophy and Technology*, vol. 1, nº 1-2, Fall.
- Rescher, Nicholas (1999): *Razón y valores en la era científico-técnica*, (ed. Wenceslao J. González), Barcelona, Paidós Ibérica, 1999.
- Reynolds, T.S. (ed.) (1991): *The Engineer in America*, Chicago, Univ. of Chicago Press.
- Rizzo, D.M., Dewoolkar, M.M. y Hayden, N.J. (2013): "Transferable Skills Development in Engineering Students: Analysis of Service-Learning Impact", pp. 65-78, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Robison, Wade L. (2013): "Rules of Skill: Ethics in Engineering", pp. 15-27, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Rodríguez Miranda, J.P. (2010): "Aspectos históricos del desarrollo de la ingeniería sanitaria y ambiental en el ámbito local, regional y mundial", *Tecnología del Agua*, año 30, num. 317, pp. 60-64.
- Rogers, C.F.C. (1983): *The Nature of Engineering. A Philosophy of Technology*, London, Macmillan.
- Rogers, J.R.; Kennon, D.; Jaske, R.T & Griggs, F.E. (eds.) (1996): *Civil Engineering History. Engineers Make History*, Proceedings of the First National Symposium on Civil Engineering History, American Society of Civil Engineers (ASCE), Washington.
- Rolston, H. (2001): "Chapter 28. Biodiversity", pp. 402-415, en: Jamieson, D. (ed.).
- Romero, R.E. (2010): "Ingeniería y sostenibilidad: una simbiosis necesaria", *Rev. Técnica Industrial*, nº 290, pp. 58-59.
- Ropohl, Günter (1999): "Philosophy of socio-technical systems", *Soc. for Philosophy and Technology*, vol 4, nº 3, Spring.

- Royal Academy of Engineering (RAEng) (2010): *Philosophy of Engineering, Volume 1*, London, RAEng.
- Royal Academy of Engineering (RAEng) (2011): *Philosophy of Engineering vol. 2*, London, RAEng.
- Ryan, C. (2013): "Critical agendas: Designing for Sustainability from Products to Systems", pp. 408-427, en: Walker, S. y Giard, J. (eds.), 2013.
- Salvato, Joseph A., Nemerow, Nelson L. y Agardy, Franklin J. (2003): *Environmental Engineering*, New Jersey, John Wiley.
- Saunders, T. (2002): *The Boiled Frog Syndrome: Your Health and the Built Environment*, Chichester, Wiley-Academy.
- Sarkar, Sahotra (2016): "Ecology", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.).
- Sassower, Raphael (1995): "Intellectual Responsibility for an Ecology Agenda", *Techné: Journal of Society of Philosophy and Technology*, vol. 1, nº 1-2, Fall.
- Schiaffonati, Viola (2013): "Future Reflective Practicioners: The Contributions of Philosophy", pp. 79-90, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Schmidt, Jon A. (2013): "Engineering as Willing", pp. 103-114, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Seely, B.E. (1984): "The Scientific Mystique in Engineering: Highway Research at the Bureau of Public Roads, 1918-1940", *Technology & Culture*, 25: 798-831.
- Seely, B.E. (1988): *Building the American Highway System: Engineers as Policymakers*, Philad., PA, Temple Univ. Press.
- Seoane, Mateo (1838): *Consideraciones generales sobre la estadística médica*.
- Shrader-Frechette, Kristin S. (1994): "Science, Environmental Risk Assessment, and the Frame Problem" *BioScience*, Vol. 44.
- Shrader-Frechette, K.S. y McCoy, E.D. (1993): *Method in Ecology: Strategies for Conservation*, Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Shrader-Frechette, K.S. (1996): "Calculated Risks" *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 11.
- Shrader-Frechette, K.S. (2001): "Chapter 21. Ecology", pp. 304-316, en: Jamieson, D. (ed.), 2001.
- Simon, Herbert A. (1962): "The Architecture of Complexity", *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 106, No. 6., Dec. 12, pp. 467-482.
- Simon, H.A. (1996): *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, MIT Press.
- Simons, Peter (2013): "Varieties of Parthood: Ontology Learns from Engineering", pp. 151-164, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Simpson, T.M. (1995): "Comentarios. Elucidaciones filosóficas", *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, pp. 86-91, Vol. 27, No. 79, Apr.
- Sinclair, G. (1977): "A Call for a Philosophy of Engineering", *Technology and Culture*, vol. 18, nº 4, pp. 685-689.
- Singer, Charles Joseph (1984): *A History of Technology*, Oxford, Clarendon Press.
- Sonier, A. (1919): *Ingeniería sanitaria. Ríos, canales y pantanos*, Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, conferencias curso académico 1915-16, Madrid, Ed. Litografía de F. Villagrasa.
- Spellman, Frank R. (2015): *Handbook of Environmental Engineering*, Boca Ratón, Fla., CRC Press.
- Spellman, F.R. & Whiting, Nancy E. (2005): *Environmental Engineer's Mathematics Handbook*, Boca Ratón, Fla., CRC Press.
- Sterrett, Susan G. (2009): "Similarity and dimensional analysis", en: Meijers (ed.), 2009.
- Stirling, A. (2009): "The Precautionary Principle", pp. 248-262, en: Olsen *et al.* (eds.), 2009.
- Strawson, Peter F. (1959): *Individuals. An Essay in Descriptive Metaphysics*, Londres, Methuen.
- Strawson, P.F. (1997): *Análisis y Metafísica. Una introducción a la Filosofía*, Paidós, Barcelona, 1997.
- Tchobanoglous, G. y Theisen, G.H. (1994): *Gestión integral de residuos sólidos*, McGraw-Hill.
- Tejero, Iñaki, Suárez, Joaquín, Jácome, Alfredo y Temprano, Javier (2004): *Ingeniería sanitaria y ambiental*, Santander, Universidad de Cantabria.
- Thompson, P.B. (2001): "Chapter 33. Land and Water", pp. 460-473, en: Jamieson, D. (ed.), 2001.
- Tokaty, G.A. (1971): *A History and Philosophy of Fluids Mechanics*, ed. G.T. Foulis & Co., 1971. (reimpresión en New York, Dover, 1994).

- Trueba, P. (2009): "La sostenibilidad en la ingeniería industrial", *Rev. Sevilla Técnica*, (vol. Ingeniería sostenible), pp. 26-33.
- Turek, Ivan y Mistina, Juraj (2007): "Globalization and its Impacts on Engineering Education", pp. 391-408, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Turnbull (2010): "The Context and Nature of Engineering Design", en: RAEng, 2010.
- Uekoetter, F. (2009): *The Age of Smoke: Environmental Policy in Germany and the United States, 1880-1970*, The Pittsburgh Press.
- Unda, F. y Salinas, S.M. (1999): *Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública*, México, Limusa.
- Urban, Robert, Bakshi, Bhavik, Grubb, Geoffrey y Baral, Anil (2010): "Towards sustainability of engineered processes: Designing self-reliant networks of technological-ecological systems", *Computers and Chemical Engineering*, 34, 1413-1420.
- Vázquez Campos, M. (1991): *Formalización de sistemas. El enfoque sistémico y el uso de modelos en ciencia y en tecnología*, Tesis doctoral, Universidad de Salamanca.
- Vázquez, M. (1995): "En torno a los conceptos de modelo, sistema y simulación", pp. 81-100, en: Broncano (comp.), 1995.
- Vega Encabo, Jesús (1996): *Epistemología de las técnicas: El problema del saber práctico y del conocimiento técnico*, Tesis doctoral, Universidad de Salamanca.
- Vega Encabo, J. (2009): "Estado de la cuestión: Filosofía de la tecnología", *Theoria*, 66, pp. 323-341.
- Vega Encabo, J. (2010): *Los saberes de Odiseo. Una filosofía de la técnica*, Buenos Aires, EUDEBA.
- Vega, M., Maldonado, C.E. y Marcos, Alfredo (eds.) (2001): *Racionalidad científica y racionalidad humana*, Valladolid, Universidad de Valladolid.
- Verbeek, Peter P.C.C. y Vermaas, Pieter (2009): "Technological artifacts" pp. 165-171, en: Olsen y Pedersen (eds.), 2009.
- Vermaas Pieter E., Kroes, P., Light, A., Moore, S. (eds.) (2008): *Philosophy and Design: From Engineering to Architecture*, Amsterdam, Springer.
- Vincenti, W.G. (1990): *What engineers know and how they know it. Analytical Studies from Aeronautical History*, Baltimore-London, The John Hopkins University Press.
- Vleuten, E. B. A. van der (2006): "Understanding network societies: two decades of large technical system studies", en: Vleuten y Kaijser (eds.), *Networking Europe: transnational infrastructures and the shaping of Europe, 1850-2000* (pp. 279-314), Sagamore Beach, Science History Publications, 2006.
- Vojak y Price (2013): "On the Epistemology of Breakthrough Innovation: The Orthogonal and Non-linear Natures of Discovery", pp. 305-316, en: Michelfelder *et al.* (eds.), 2013.
- Volanen, Matti Vesa (2007): "Craft and Art in Engineering. Philotechné as an Ideal of 'Bildung' in Engineering Education", pp. 65-84, en: Christensen *et al.* (eds.), 2007.
- Vries, Marc J. de (2003): "The Nature of Technological Knowledge: Extended Empirically Informed Studies into what Engineers know", *Techné*, vol. 6, Spring.
- Walker, S. y Giard, J. (eds.) (2013): *The Handbook of Design for Sustainability*, London, Bloomsbury.
- Waring, George E. (1867): "Chapter XI: House Drainage and Town Sewerage in Their Relations to the Public Health", *Draining for Profit and Draining for Health*, New York: Orange Judd & Co.
- Waring, G.E. (1877): "Village Sanitary Works", *Scribner's Monthly*, vol. XIV, n° 2 (June 1877), pp. 176-187.
- Waring, G.E. (1879): "The Draining of a Village", *Harper's New Monthly Magazine*, vol. 59, Issue 349 (June 1879), pp. 132-135.
- Waring, G.E. (1883): "Sanitary Drainage", *The North American Review*, vol. 137, Issue 320 (July 1883), pp. 57-67.
- Webster, L.F. (1997): *The Wiley Dictionary of Civil Engineering and Construction*, Nueva York, Ed. Wiley.
- Wheeler, J.A. (1956): "A Septet of Sibyls: Aids in the Search for Truth", *American Scientist*, vol. 44, p. 360.
- Wittgenstein, Ludwig (1921): *Tractatus logico-philosophicus*, Madrid, Revista de Occidente, 1957.
- Wolf, C. (2001) : "Chapter 25. Population", pp. 362-376, en: Jamieson, D. (ed.), 2001.

- Zwanenberg, v. P., Ely, A. y Smith, A. (2011): *Regulating Technology: International Harmonization and Local Realities*, Oxon, Earthscan.
- Zwart, Sjoerd D. (2009): "Introduction to modelling in engineering sciences", en: Meijers (ed.), 2009.
- Zwart, Sjoerd D. (2009): "Scale modelling in engineering", en: Meijers (ed.), 2009.